الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral

Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur
En Sciences de la Mer

Option : Halieutique

Discrimination des populations de trois espèces de petits pélagiques des côtes algériennes : *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758), *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) et *Boops boops* (Linnaeus, 1758) par analyse de forme des otolithes.

Réalisé par :

SADAT Zineb

Soutenu le 14/09/2017 devant le jury composé de :

Mme GHALMI R.	Maître-assistant A	ENSSMAL	Présidente
Mme AINOUCHE N.	Attachée de recherche	CNRDPA	Examinatrice
Mme LADOUL S.	Maître-assistant A	ENSSMAL	Examinatrice
Mme BOUFERSAOUI S.	Maître de conférences B	ENSSMAL	Promotrice

Année universitaire : 2016-2017

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Mme BOUFERSAOUI pour ses remarques, sa disponibilité et sa bienveillance. Puisse-t-elle trouver ici mes sincères remerciements.

J'exprime mes remerciements à Mme GHALMI qui a eu l'amabilité de présider ce jury, en dépits de ses nombreuses occupations.

Je remercie Mme AINOUCHE qui a bien voulu examiner et corriger ce travail. Qu'elle trouve dans ces lignes le témoignage de ma respectueuse reconnaissance.

Mes remerciements vont également à Mme LADOUL pour avoir pris le temps d'examiner ce travail, et d'apporter ses critiques constructives.

Un très grand merci aux personnes qui ont participé aux échantillonnages. Je tiens à remercier M. KASSAR qui a bien voulu nous aider pour l'échantillonnage de Beni-Saf. Merci également à M. MENDIL pour son aide lors des sorties au niveau de la pêcherie d'Alger. Merci aussi à Sofiane pour l'échantillonnage de Jijel et à Adel pour la sardine de Bou-Ismail.

Mes remerciements vont également à M. KACHER pour son aide précieuse, ses orientations et ses remarques pertinentes.

Je remercie mes très chers parents, qui, tout au long de mon cursus, m'ont toujours soutenu, encouragé et aidé. Ils ont su me donner toutes les chances pour réussir. Qu'ils trouvent, dans la réalisation de ce travail, l'aboutissement de leurs efforts ainsi que l'expression de ma plus affectueuse gratitude.

Mes remerciements vont également à Zohra, Hanan D. Hadjer, Kheira, Mohamed, Sabrina, Sofiane, Sadjia, Hanan A et Fella, pour leur aide et leur soutien. Merci aussi à Rym d'avoir été présente, chaque fois que j'en avais besoin, et à et toute la promotion 5ème année halieutique 2017.

À tous ces intervenants et d'autres non cités, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

Table des matières

Introduction **2**

Chapitre I. Généralités

1. Description de la zone d'étude 5
1.1. Les sites du bassin d'Alboran 5
1.2. Les sites du bassin Algero-Provençal 7
2. Présentation des espèces étudiées 7
2.1. La bogue, *Boops boops* 7
2.2. L'anchois commun, *Engraulis encrasicolus* 8
2.3. La sardine commune, *Sardina pilchardus* 9
3. Concepts de population et de stock 10
4. Utilisation des otolithes dans la discrimination des stocks 11

Chapitre II. Matériel et méthodes

1. Stratégie d'échantillonnage 14
2. Traitement des échantillons 14
3. Etude Otolithométrique 14
3.1. Prélèvement et conservation des *sagittae* 15
3.2. Analyse de forme et description du contour des otolithes 15
3.2.1. Numérisation des *sagittae* 16
3.2.2. Préparation des images des otolithes 16
3.2.3. Préparation de la base de données 16
3.2.4. Extraction du contour des *Sagittae* 17
3.2.5. Descripteurs de distance et indices de forme 18
3.2.6. Analyse elliptique de Fourier 18
4. Analyses statistiques des données 20
4.1. Analyse de la covariance (ANCOVA) 20
4.2. Analyse de variance (ANOVA) 21
4.3. Analyse canonique des coordonnées principales (CAP) 21

Chapitre III. Résultats et discussions

1. Composition des échantillons 24
2. Otolithométrie 25
2.1. Description des otolithes 25
2.2. Etude de la symétrie des otolithes 29
2.3. Comparaison des stocks 29
2.3.1. Indices de forme 29
2.3.2. Analyse du contour de la sagittae : analyse elliptique de Fourier 31

Conclusion et perspectives **39**

Références bibliographiques **41**

Liste des figures

Figure 01- Situation géographique du littoral algérien et localisation des secteurs d'échantillonnage. 5
Figure 02 - Schéma illustrant la circulation en mer d'Alboran (Tintoré *et al.,* 1988). 6
Figure 03 - Morphologie générale (a) et dentition de B. boops (b) (Fisher *et al.,* 1987). 8
Figure 04 - Morphologie générale d'E. encrasicolus. 9
Figure 05 - Morphologie générale de S. pilchardus. 10
Figure 06- Dessin schématique indiquant les principaux caractères du pourtour et de la face interne d'un otolithe de *B. boops*. 12
Figure 07 - Représentation des effectifs par secteur étudié pour *B. boops, E. encrasicolus et S. pilchardus*. 14
Figure 08 - Sagittae gauches de *B. boops*(a), *E. encrasicolus*(b) et *S. pilchardus*(c). 15
Figure 09 - Positionnement de l'otolithe droit et gauche pour la prise des photos. Exemple de sagittae de la sardine. 16
Figure 10 - Exemple d'images d'otolithes gauches après extraction du contour. Le contour rouge marque la forme de l'otolithe. 17
Figure 11 - Descripteurs de distance mesurés 18
Figure 12 - Projection des points du contour d'un otolithe (*S. pilchardus*) dans un repère en deux dimensions pour l'obtention des coefficients de Fourier 19
Figure 13 - Méthodologie pour l'acquisition des images des otolithes, détermination des descripteurs de forme et de Fourier. 22
Figure 14 - Diagramme en boîte à moustaches de la distribution des longueurs totales en fonction des populations, et ce pour les trois espèces. 25
Figure 15 - Sagittae de la bogue, *B. boops* observées pour différentes tailles et régions. 26
Figure 16- Sagittae de l'anchois, *E. encrasicolus* observées pour différentes tailles et régions. 27
Figure 17 - Sagittae de la sardine, *S. pilchardus* observées pour différentes tailles et régions 28
Figure 18 - Variation de la moyenne des pourcentages cumulés de la puissance de Fourier par rapport au nombre d'harmoniques décrivant la forme des otolithes. 31
Figure 19 - Représentation de la forme moyenne d'otolithes des populations de *B. boops*. 33
Figure 20 - Forme d'otolithes gauches d'échantillons provenant de six populations de bogue de la côte algérienne en utilisant l'analyse canonique des coordonnées principales avec les coefficients de Fourier. 33
Figure 21 - Représentation de la forme moyenne d'otolithes des populations d'*E. encrasicolus*. 35
Figure 22 - Forme d'otolithes gauches d'échantillons provenant de six populations d'anchois de la côte algérienne en utilisant l'analyse canonique des coordonnées principales avec les coefficients de Fourier. 35
Figure 23 - Représentation de la forme moyenne d'otolithes des populations de *S. pilchardus*. 37
Figure 24 - Forme d'otolithes gauches d'échantillons provenant de cinq populations de sardine de la côte algérienne en utilisant l'analyse canonique des coordonnées principales avec les coefficients de Fourier. 37
Figure 25 - Image de la température de surface enregistrée par le radiomètre infrarouge 38

Liste des tableaux

Tableau 01- Indices de forme calculés pour chaque otolithe à partir des descripteurs de distance. 18
Tableau 02 - Résultats de l'analyse de covariance pour *S. pilchardus, E. encrasicolus* et *B. boops*. 29
Tableau 03 - Moyennes des indices de forme des otolithes, des différentes populations et résultats de l'ANOVA. 30
Tableau 04 -Comparaison de la forme des otolithes chez différentes populations utilisant une ANOVA comme test de permutation. 32

Introduction

Introduction

Les richesses halieutiques en Méditerranée y compris en Algérie ont depuis longtemps étaient aussi qualitatives que quantitatives dues à de nombreux paramètres comme celui de la salinité, la température de l'eau ou autres. L'exploitation et la conservation de ces ressources marines nécessitent une bonne connaissance de la structure des populations et l'identification des stocks (Cadrin *et al*., 2013). Une gestion responsable doit donc avoir pour étape préliminaire, la définition des unités d'aménagement qui passe obligatoirement par l'identification des unités de populations constitutives d'un peuplement, en particulier lorsqu'il s'agit de poissons dit petits pélagiques. Connus pour leur instabilité aussi bien dans le temps que dans l'espace (Chlaida, 2009), ce groupe de poissons dynamique (sardines, sardinelles, saurels, bogues, anchois) représente 80% sur le plan captures des produits de la pêche en Algérie (Benmansour, 2009), d'où leur importance économique et sociale.

Ces poissons peuvent subir, du fait de leur court cycle de vie, de fortes fluctuations de biomasse dues aux variations environnementales, en particulier durant leurs premiers stades de vie (Palomera *et al*., 2007 ; Jemaa, 2014). Les variations de biomasse ont des incidences trophiques significatives (Coll *et al*., 2006), puisque ces espèces représentent un niveau intermédiaire de la chaîne alimentaire (Palomera *et al*., 2007 ; Fréon *et al*., 2005). Par conséquent, des changements majeurs dans l'abondance de ces espèces peuvent être accompagnés par des changements marqués dans la structure de l'écosystème (Checkley *et al*., 2009). Leur présence est alors nécessaire pour maintenir l'équilibre des écosystèmes. Dans ce contexte, et prenant en considération l'importance économique et écologique des petits poissons pélagiques, il paraît crucial de gérer de façon optimale et durable ces ressources.

En Méditerranée, l'aménagement de la ressource en petits pélagiques se fait par la Commission Générale des Pêches pour la Méditerranée (CGPM). D'une manière générale, cette gestion se limite aux mesures techniques relatives à la régulation de l'effort (engins de pêche,… et capture) (Checkley *et al*., 2009).

Différentes études génétiques ont été réalisées pour étudier la structuration des populations ou l'identification des stocks de sardines et d'anchois. Les résultats de ces études sont parfois contradictoires et ne correspondent pas nécessairement à ceux obtenus par les méthodes méristiques et morphologiques (Jemaa, 2014). L'utilisation de la forme des otolithes est une approche nouvelle, très intéressante, à explorer dans le cadre de l'identification de la structure des populations de poissons marins, en lien avec les variabilités environnementales et la structure génétique (Campana et Casselman 1993 ; Cadrin et Friedland 1999 ; Torres *et al*. 2000; Cardinale *et al.* 2004 ; Vignon et Morat, 2010).

De nombreuses études ont utilisé la forme de l'otolithe pour discriminer les stocks de poissons (Begg et Brown, 2000; Bolles et Begg, 2000; Campana et Casselman, 1993; Côté *et al*., 1980; De Vries *et al*., 2002; Tuset *et al*., 2003). Des résultats encourageants sont obtenus par cette méthode car la forme de l'otolithe est liée à la croissance de l'individu (Fox *et al*., 2003; Gallego *et al*., 1999), et aux conditions environnementales (Bailey et Heath 2001; Campana et Casselman 1993). Par exemple, l'analyse de la forme des otolithes a été utilisée avec succès pour la séparation des stocks, de morue de l'Atlantique (*Gadus morhua*) de la zone côtière du Nord-Est de la Norvège (Stransky *et al*., 2008) et la discrimination des stocks du rouget de roche (*Mullus surmuletus*) dans le Nord-Est de l'Atlantique (Benzinou *et al.*, 2013). Elle a aussi été utilisée pour la séparation du stock Atlantique du stock méditerranéen chez le chinchard commun (*Trachurus trachurus*) (Stransky *et al.*, 2008) et chez le balaou de l'Atlantique (*Scomberesox saurus saurus*) (Agüera et Brophy, 2011). À petite échelle, elle a été utilisée pour la séparation de trois groupes d'anchois (*Engraulis encrasicolus*) dans les eaux tunisiennes (Messaoud *et al*., 2011).

Dans le même contexte de ces études, notre travail présente comme objet la discrimination des populations de trois espèces par l'utilisation de la forme de l'otolithe comme un outil de distinction de populations. Appartenant au groupe des petits pélagiques *Engraulis encrasicolus*, *Boops boops* et *Sardina pilchardus* ont été choisis le long de la côte algérienne. Cette étude nous permettra d'identifier les populations de chacune des espèces dans le but de mieux comprendre la structure de leurs populations, pour une meilleure exploitation et conservation de ces ressources.

En préambule et avant d'entamer l'objet principal, il nous est indispensable de présenter dans un premier chapitre notre patrimoine marin de 1622 Km de linéaire côtier (MREE-PAP RAC/PAM, 2015) de la rive Sud-Ouest de la mer Méditerranée ; de point de vue délimitation géographique et description hydrologique ainsi que la présentation des trois espèces choisies. Le deuxième chapitre détaillera l'ensemble des méthodes utilisées afin d'éclairer au mieux l'utilisation de la forme et le contour des otolithes dans la séparation des populations, il s'agit de la méthode de Fourier, une approche nouvelle très convoité dans les études de stocks de poissons. Un dernier chapitre exposera les résultats obtenus, leur interprétation et discussion, afin d'en tirer les conclusions et d'en proposer des perspectives.

Chapitre I. Généralités

1. Description de la zone d'étude

La présente étude a été réalisée sur la rive Sud-Ouest de la Méditerranée, le long du littoral algérien. La côte algérienne s'étend de Marsat Ben M'Hidi à l'Ouest (35° 05′ 00″ N et 2° 12′ 16″ O) au Cap Roux (Cap Segleb, Wilaya d' El-Tarf) à l'Est (36° 56′ 30,53″ N et 8° 36′ 45,256″ E) sur un linéaire côtier de 1622 km (MREE-PAP RAC/PAM, 2015). Elle se présente comme une succession de baies et de golfes plus au moins ouverts séparés par des régions très escarpées (Grimes, 2010).

Vu la variabilité des conditions environnementales le long de la côte algérienne (Millot, 1987), nous étions dans l'obligation de choisir des sites d'étude représentatifs de chaque région de façon à couvrir tout le littoral algérien (Fig-01). Des échantillons d'anchois, de bogue et de sardine ont été obtenus à partir de cinq sites du bassin algéro-provençal (El-Kala, Annaba, Jijel, Alger et la baie de Bou-Ismail) et deux dans le bassin d'Alboran (Beni-Saf et Ghazaouet). Les secteurs d'échantillonnages sont au nombre de 6 pour l'anchois (Ghazaouet, Beni-Saf, Bou-Ismail, Alger, Jijel, et Annaba), de 5 pour la bogue (Beni-Saf, Bou-Ismail, Alger, Jijel et Annaba), et pour la sardine (Ghazaouet, Beni-Saf, Bou-Ismail, Jijel et El-Kala).

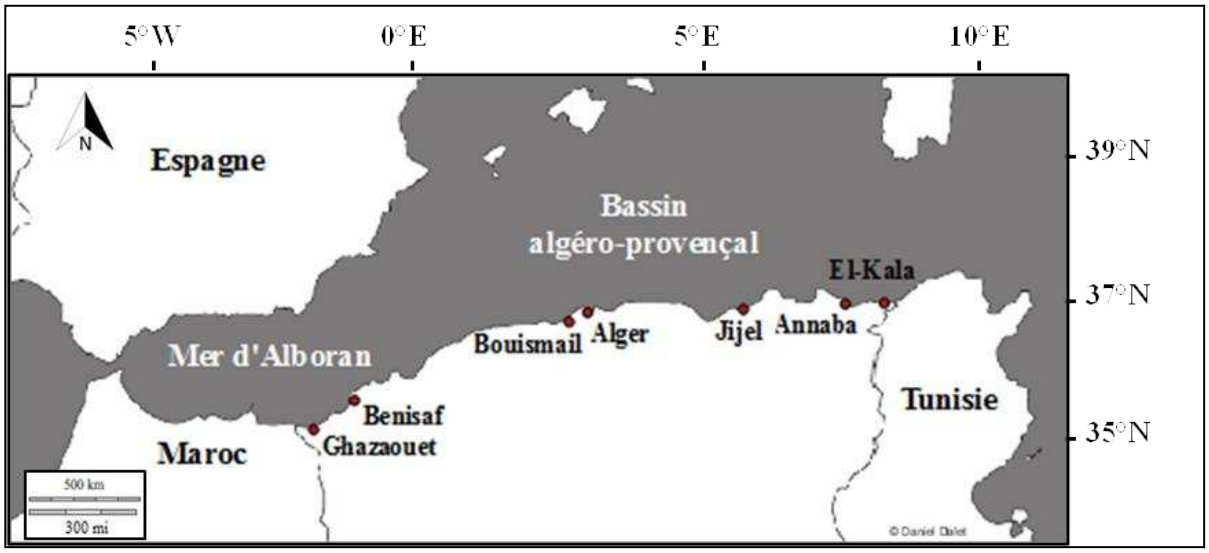


Figure 01- Situation géographique du littoral algérien et localisation des secteurs d'échantillonnage.

1.1. Les sites du bassin d'Alboran

La mer d'Alboran forme un couloir de transition entre la mer Méditerranée et l'océan Atlantique, là où se produit la rencontre de masses d'eaux océaniques exposées à différents niveaux de salinités et de températures, considérée comme un bassin exceptionnel et unique au monde qui abrite les fronts océanographiques les plus intenses. L'un d'eux, le front Almeria-Oran, s'étend le long de la ligne qui unit les deux localités et qui délimite la mer d'Alboran par son contour occidental (Robles *et al*., 2007).

Le front Almeria-Oran est géostrophique, conséquence d'un équilibre dynamique quasi-permanent entre la force de Coriolis et le gradient horizontal de densité, est la résultante de la rencontre entre le jet d'eau atlantique peu salé qui entre à Gibraltar et les eaux atlantiques modifiées qui ont circulé dans l'ensemble du bassin et qui présentent des salinités élevées typiques des eaux Méditerranéennes. C'est une structure analogue à celles généralement associées aux grands courants océaniques, mais à la différence de ce dernier, le gradient de densité découle d'un gradient de salinité et non de température (Arnone *et al.*, 1990). Le jet Atlantique forme dans la mer d'Alboran deux gyres anticycloniques ; la WAG (Western Anticyclonic Gyre) et la EAG (Eastern Anticyclonic Gyre) pour ensuite s'écouler vers l'Est le long des côtes algériennes et former le courant algérien (Fig-02). Le front Almeria-Oran correspond à un jet parallèle au bord de la gyre EAG et se caractérise par un fort gradient de densité entre les eaux atlantiques et méditerranéennes. Ce front s'étend sur 200 km de longueur, 30 km de large et environ 70-150 m d'épaisseur selon le bord du jet considéré (Jemaa, 2014).

La région ouest algérienne fait partie du bassin d'Alboran, c'est une région clairement différenciée du reste du bassin méditerranéen par une grande spécificité des conditions hydrologiques et écologiques (Millot, 1985 ; Bacha *et al*., 2010). La baie de Beni-Saf et le golf Ghazaouet se situent à l'extrême ouest de cette région, et sont constamment influencées par les courants froids de l'Atlantique riches en plancton entrant la mer Méditerranée à travers le détroit de Gibraltar, induisant de fortes productivités. Au large, un tourbillon anticyclonique de diamètre important (>50 m) dévie les eaux côtières vers le large. En effet, à l'échelle de l'année, toutes les masses d'eau circulent cycliquement le long des côtes de la Méditerranée occidentale (Millot, 1989). C'est au niveau de cette région, que les fonds marins, forment le plateau continental le plus étendu de la côte algérienne puisqu'il s'étend jusqu'à 10 milles de la côte (ISTPM, 1982).

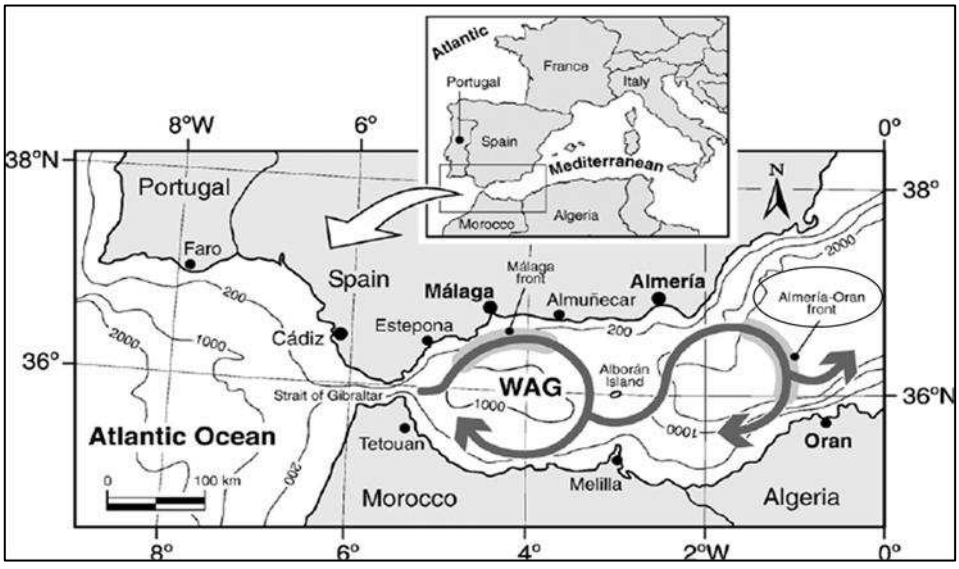


Figure 02 - Schéma illustrant la circulation en mer d'Alboran (Tintoré *et al*., 1988).

1.2. Les sites du bassin Algero-Provençal

Le grand bassin algéro-provençal est formé de deux bassins distincts : le bassin provençal entre l'île de Minorque et la Sardaigne et le bassin algéro-baléares, qui est limité au Nord par les îles Baléares et la Sardaigne (40°N), à l'Ouest par la mer d'Alboran (2°W), à l'Est par le couloir sarde (9°E) et au Sud, essentiellement par la marge continentale algérienne (Refes, 2011).Nous avons choisi pour notre étude, la région algéroise et quelques secteurs de la région Est de la côte algérienne.

La région algéroise, englobe deux baies de la côte algérienne : la baie de Bou-Ismail et la baie d'Alger. Toutes les caractéristiques de la marge continentale algérienne se retrouvent au niveau de la région algéroise. Ainsi, la marge continentale des baies d'Alger et de Bou-Ismail se caractérise par une extension remarquable. Ces deux baies sont géographiquement séparées par le massif de la Bouzaréah (Bakalem, 2008).

Pour la région Est, nous avons retenu les baies de Jijel, Annaba et El-Kala. Le plateau sous-marin de Jijel est très accidenté et atteint son extension maximale (12 km) au droit du haut-fond de Jijel; la pente lui succédant vers le large est très accore (Bakalem, 2008) ; encore plus à l'Est, dans le secteur d'Annaba, le plateau continental est étroit dans son ensemble avec un fond hétérogène surtout au voisinage des caps de Garde et Rosa, ce secteur est soumis à la fois aux influences des apports continentaux et aux intrusions d'eaux néritiques externes (Derbal, 2007). Au voisinage du lac Mellah et jusqu'à El-Kala, les eaux sont relativement plus transparentes. La lagune d'El Mellah, reliée à la mer par un chenal long de 900 m, constitue un véritable bassin de dilution exportant directement ses eaux vers le littoral adjacent. En effet, elle exporte directement vers la baie d'El-Kala environ 180 millions de mètres cube d'eaux par an (Ounissi, 2001 *in* Derbal, 2007). À partir de cap Rosa, le plateau continental s'étend en pente douce jusqu'au détroit de Sicile. Sur les côtes Est algériennes, le mouvement hydrodynamique est généralement de faible amplitude (Derbal, 2007).

2. Présentation des espèces étudiées

2.1. La bogue, *Boops boops*

La bogue est un poisson Téléostéen appartenant à l'ordre des Perciformes et à la famille des Sparidés. Il est l'un des Sparidés les plus communs sur les côtes algériennes (Djabali *et al*., 1993 ; Derbal et Kara, 2008).

De corps allongé et subcylindrique, *B. boops* présente une coloration verdâtre avec 3 à 5 rayures dorées longitudinales nettes sur les flancs (Fig-03. a). Les dents sont incisiformes et disposées en une seule rangée sur les mâchoires inférieure et supérieure (Fig-03. b).

Ce poisson est démersale à pélagique, vit au-dessus du plateau continental, sur tous les fonds jusqu'à 350m (Fischer *et al.*, 1987). Cette espèce est erratique avec une grande capacité de déplacement vertical (Harmelin, 1987).

La bogue, est plus abondante dans les cent premiers mètres. Omnivore et planctonaphage, elle se déplace en bancs et peut remonter en surface surtout la nuit ; elle peut s'introduire parfois dans les étangs salés (Lamrini, 1988).

La bogue est hermaphrodite protérogynique, atteignant sa maturité sexuelle à un an (12cm) (Boutiba *et al*., 2003). Généralement, chez cette ressource la ponte a lieu en mars et s'étend sur trois mois, de février jusqu'en avril. Le mois de mai marque la fin de frai (Kherraz, 2011).

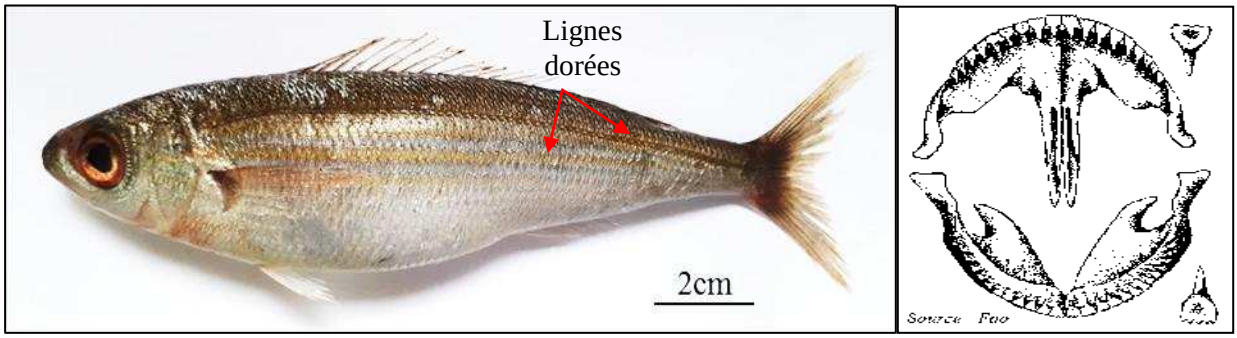


Figure 03 - Morphologie générale (a) et dentition de *B. boops* (b) (Fisher *et al.*, 1987).

2.2. L'anchois commun, *Engraulis encrasicolus*

L'anchois commun est un poisson Téléostéen appartenant à l'ordre des Clupéiformes et à la famille des Engraulidés. Cette espèce est un élément essentiel pour les écosystèmes marins du fait de sa biomasse importante et de sa position dans les réseaux trophiques en occupant un maillon central assurant un lien crucial entre la production planctonique et les grands piscivores (Palomera *et al.*, 2007).

L'anchois se présente comme un poisson ayant un corps très élancé, mince, à section transversale ; profil ventral sans alignement de scutelles formant carène. Ce poisson possède un museau proéminant, une mâchoire inférieure très longue et la bouche dépasse très nettement le bord postérieur de l'œil. L'espèce possède une seule nageoire dorsale courte, insérée à peu près au milieu du corps (Fig-04). La ligne latérale est invisible et les écailles sont caduques. Caractérisé surtout par l'allongement du museau en rostre au-dessus d'une bouche infère largement fendue (Fisher *et al.*, 1987).

L'anchois, est un petit poisson pélagique grégaire se rassemblant en bancs immenses ; il est présent de la côte jusqu'à 150 m de fond. Cette espèce présente une très large répartition

géographique, elle a été signalée depuis la mer du nord (Norvège) jusqu'aux côtes de l'Afrique occidentale Nord où elle fréquente tout le bassin de la Méditerranée (Kadri, 1988).

Une aussi large dispersion fait apparaître des caractères propres aux anchois d'une région déterminée (Hemida, 1987). L'abondance et la croissance de l'anchois est corrélée au facteur température (Pauly, 1980 ; Basilone *et al.*, 2004) et au facteur production primaire (Iverson, 1990).

L'anchois se reproduit d'avril à novembre. Les femelles pondent de façon fractionnée sur plusieurs semaines. Il se reproduit à cette période car les températures élevées offrent des conditions favorables de nutrition (Duhamel et Masset, 2004). L'étalement de la saison de ponte est un atout pour la survie des œufs et des larves qui ont ainsi plus de chances de se développer dans un milieu favorable (Jemaa, 2014).

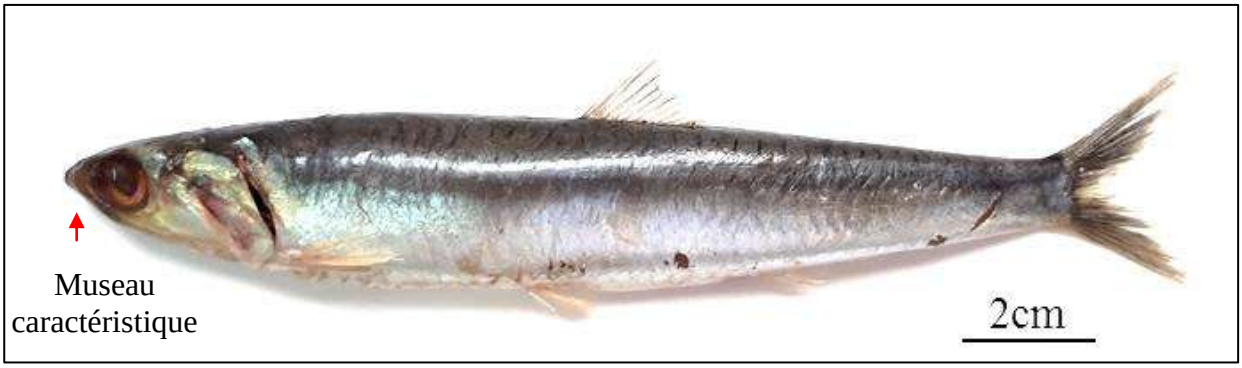


Figure 04 - Morphologie générale d'*E. encrasicolus*.

2.3. La sardine commune, *Sardina pilchardus*

La Sardine commune appelée aussi sardine européenne est un poisson Téléostéen appartenant à l'ordre des Clupeiformes et la famille des Clupeidés.

S. pilchardus possède un corps élancé, de section ovale; un ventre argenté brillant et un dos bleuté (Fig-05); une série de scutelles sur le profil ventral, mais ne formant pas de carène très aiguë. Elle se caractérise par des écailles caduques, un opercule strié, la nageoire dorsale est située en avant des pelviennes et la nageoire anale se caractérise par un allongement au niveau des deux derniers rayons. Elle possède une série de taches sombres le long des flancs supérieurs (Whitehead, 1985).

Elle vit en Atlantique Nord-Est, de la Norvège et l'Ecosse jusqu'au Sénégal. Elle est présente également en Méditerranée (Bauchot, 1980). Cependant, des études basées sur les caractères métriques et méristiques suggéreraient l'existence de deux sous-espèces de sardine *Sardina pilchardus pilchardus* en Atlantique et *Sardina pilchardus sardina* en Méditerranée (Lee, 1961 ; Parrish *et al*., 1989).

C'est un poisson pélagique vivant dans les eaux côtières et jusqu'à 120 m de profondeur. La sardine vit en bancs parfois importants, près de la surface la nuit et plus en profondeur le jour (Dumay, 2006) ; à travers sa vaste aire de distribution, l'espèce subit des variations qui conditionnent sa répartition et sa biomasse notamment la richesse en plancton, l'hydrologie et la température de l'eau (Chlaida, 2009).

La sardine se reproduit dans les zones où la température et les proies sont favorables à la survie des larves (Somarakis *et al*., 2000; Ward, 2002). Elle se caractérise essentiellement par une croissance rapide, une durée de vie courte, une grande fécondité et une mortalité élevée surtout en phase larvaire (Rochet, 2000; Rose *et al*., 2001). La croissance et la maturité sexuelle présentent de larges variations tout au long de l'aire de répartition (Alemany et Alvarez, 1993; Pérez *et al*., 1985).

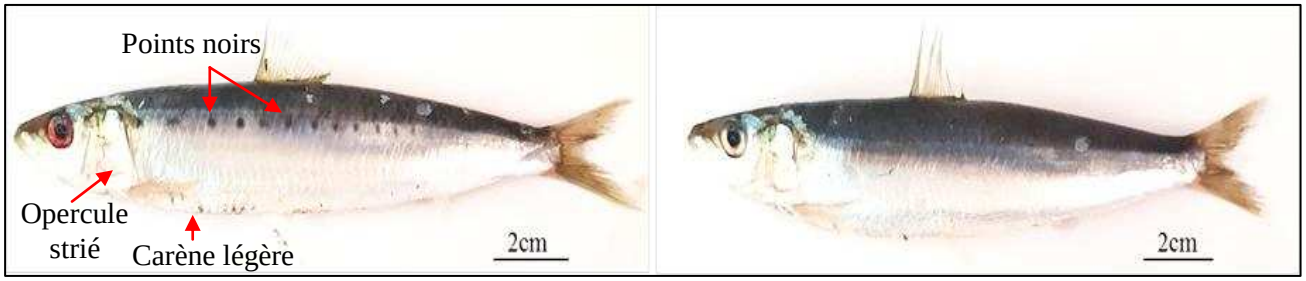


Figure 05 - Morphologie générale de *S. pilchardus*.

3. Concepts de population et de stock

La mise en place d'un système de gestion implique une bonne connaissance des stocks de pêche et de leur dynamique. Cependant, les études réalisées sur l'identification des stocks de poissons soulèvent la nécessité de définir les notions de population et surtout, le concept de stock qui ont fait l'objet de vives discussions parmi les scientifiques (Mork *et al*. ,1985 ; Pogson *et al*., 1995 ; Jordan *et al*., 1997 ; Begg *et al*., 1998 ; Buonaccorsi *et al*., 1999 ; Murta, 2000 *in* Chlaida, 2009). Ihssen *et al*. (1981) définissent un stock comme un groupe intra-spécifique, possédant une intégrité spatiale et temporelle, où les individus peuvent s'accoupler aléatoirement. Daget et Le Guen (1975) définissent une population halieutique comme un ensemble d'individus vivant dans un écosystème déterminé et possédant des caractères communs transmissibles par hérédité.

Les définitions, de population et de stock, peuvent en fait être complètement confondues si l'on ne considère que les caractéristiques biologiques de l'espèce (Chlaida, 2009); selon Laurec et Le Guen (1981) : « le stock est, par définition l'ensemble des animaux exploitables. Lorsque la population est isolée et homogène, le stock constitue alors une entité, indépendante d'autres stocks de la même espèce et gérée individuellement ».

Dans la pratique, il n'est pas facile d'identifier les stocks parce que la délimitation des populations voisines soulève de nombreuses difficultés, en particulier dans la mer où il n'y a pas de barrières géographiques claires et où les flux de gènes sont importants.

Bien que les différences phénotypiques ne fournissent pas de preuves directes de l'isolement génétique entre les stocks, ils peuvent indiquer la séparation prolongée des poissons dans les différents habitats de l'environnement (Begg et Waldman, 1999). Ces stocks locaux et isolés de poissons peuvent présenter des caractéristiques démographiques différentes justifiant une évaluation et gestion distinctes (Jemaa, 2014).

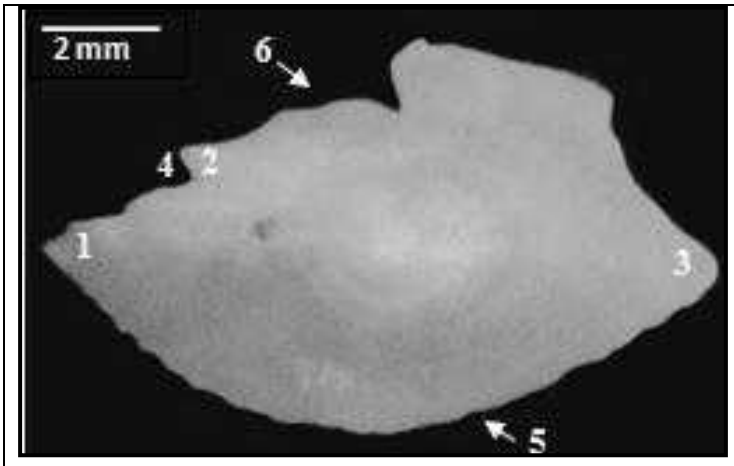
4. Utilisation des otolithes dans la discrimination des stocks

Connus pour renfermer des renseignements du stock de poissons auxquels ils appartiennent (Campana *et al.,* 1993), les otolithes, présents au nombre de trois paires dans chaque individu (*lapillus, sagittae* et *asteriscus*), sont des concrétions calcaires enfermées dans les trois sacs de l'oreille interne, le *lapillus* se trouve dans une chambre appelée *utriculus,* la *sagittae* dans le *sacculus,* et *l'asteriscus* dans la *lagenan* (Baillon, 1991); ils jouent un rôle important dans les fonctions de maintien de l'équilibre et d'orientation du poisson (Oxman *et al*., 2007).

Chez la plupart des poissons, l'otolithe sacculaire est la plus grande. Dans la littérature, divers noms spéciaux ont été introduits pour désigner la *sagittae* : otolithe sacculaire ou encore sacculithe (Veen et Hoedemakers, 2005). Dans le présent travail, le terme 'otolithe' indique toujours l'otolithe sacculaire. Les caractères les plus importants sont illustrés dans la figure 06 qui sert de référence pour les descriptions de la forme chez les trois espèces étudiées.

Les otolithes sont des enregistreurs naturels de données de variations de croissances et de changements d'habitats, et inscrivent les informations dans leurs microstructures et leur chimie (Begg *et al.,* 2005); ils présentent également une spécificité de forme (L'Abée-Lund 1988).

En effet, les formes externes des otolithes de poissons sont fortement influencées par les facteurs environnementaux et génétiques. Ils ont alors une forme externe distinctive qui est souvent caractéristique de l'espèce et du stock considérés (Gaemers, 1988 ; L'Abée-Lund, 1984 *in* Nasreddine, 2010) ; cette forme spécifique de l'espèce, présente aussi des variations intra-spécifiques (Lombarte et Castellón, 1991). De nombreuses études ont montré que la forme des otolithes permettait la discrimination de populations locales (Campana et Casselman, 1993 ; Tracey *et al*. 2006 ; Mérigot *et al.* 2007 ; Morat *et al.* 2008 ; Bacha *et al.*, 2014).



1. Rostre,
2. Anti-rostre,
3. Expansion postérieure avec section postérieure,
4. *Excisura*,
5. Face ventrale,
6. Face dorsale.

Figure 06- Dessin schématique indiquant les principaux caractères du pourtour et de la face interne d'un otolithe de *B. boops*.

Chapitre II. Matériel et méthodes

1. Stratégie d'échantillonnage

L'échantillonnage a été effectué soit à quai lors de la mise à terre des caisses de poissons, soit au niveau de la poissonnerie d'Alger, où le produit de pêche de plusieurs ports d'Algérie y transite, particulièrement Ghazaouet, Beni-Saf, de l'Ouest du pays et Annaba, Skikda de l'Est ; dans ce cas on s'assure de l'origine de la zone de pêche. 655 poissons ont été prélevés de Novembre 2016 à Mai 2017. Le nombre d'individus échantillonnés et traités par secteur et par espèce sont présentés par l'histogramme de la figure 07.

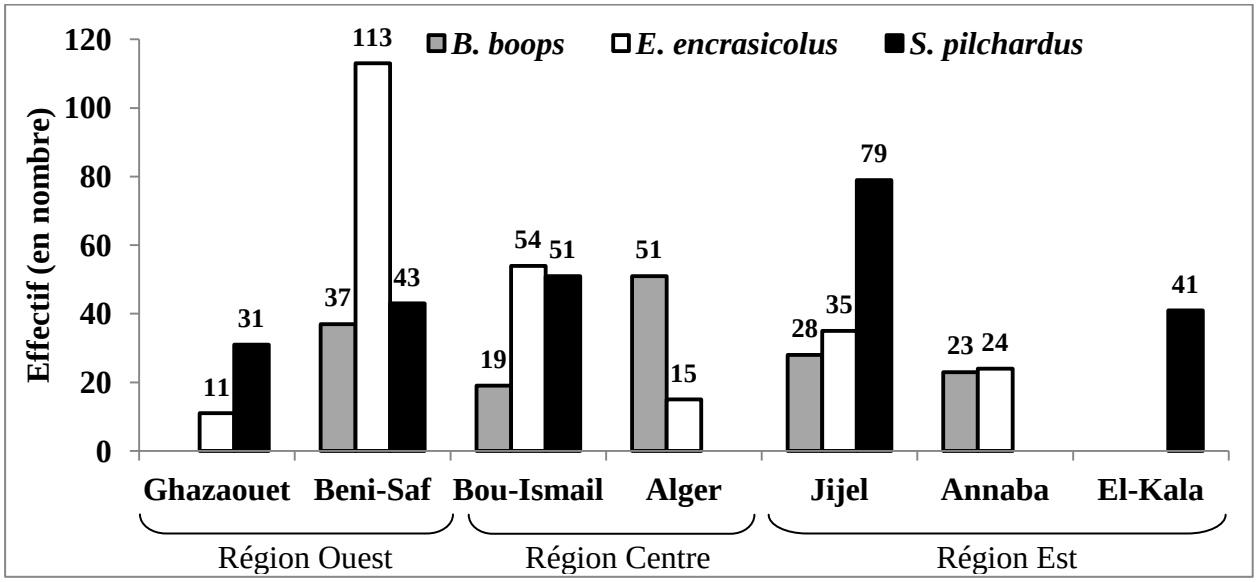


Figure 07 - Représentation des effectifs par secteur étudié pour *B. boops*, *E. encrasicolus* et *S. pilchardus*.

2. Traitement des échantillons

Les poissons sont traités au laboratoire directement après échantillonnage, à l'état frais ou congelés pour traitement ultérieur. La longueur totale (L_T) de 655 poissons a été mesurée à l'aide d'un ichtyomètre (cm).

3. Etude Otolithométrique

Pour notre étude, nous nous sommes intéressés à la forme des otolithes pour la discrimination des populations de la bogue, d'anchois et de sardine (Fig-08), provenant de différents sites de la côte algérienne par l'analyse elliptique de Fourier.

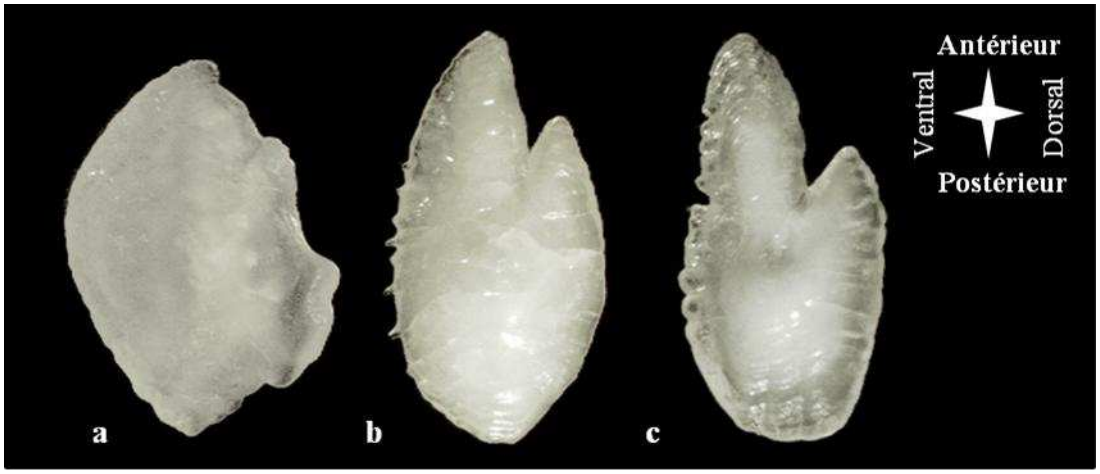


Figure 08 - *Sagittae* gauches de *B. boops*(a), *E. encrasicolus*(b) et *S. pilchardus*(c).

3.1. Prélèvement et conservation des otolithes

À partir d'une section frontale de la tête, les otolithes *sagittae* (les plus volumineux et plus faciles à prélever) sont prélevés à l'aide de pinces fines, ensuite rincés avec de l'eau et conservés à sec dans des tubes Eppendorf codifiés. Sur l'ensemble des spécimens échantillonnés, nous avons conservé 1218 otolithes (droits et gauches).

3.2. Analyse de forme et description du contour des otolithes

L'analyse morphométrique des otolithes est une méthode bien établie pour délimiter les stocks de poissons, caractériser les mouvements de population et détecter l'origine natale du poisson. Deux méthodes morphométriques principales sont utilisées : l'analyse de Landmarks et l'analyse des contours. Avec cette dernière méthode, il est possible de quantifier les formes des limites afin que les profils de variation de forme à l'intérieur et entre les groupes puissent être évalués en fonction d'un grand nombre de variables indépendantes. L'avantage d'utiliser de telles méthodes +dans l'identification de la population est qu'elles sont rentables et ne nécessitent que des images d'otolithes à partir desquelles les contours peuvent être extraits et analysés avec un logiciel statistique. Dans notre étude, nous avons utilisé un package du logiciel libre R (3.4.0) pour extraire, visualiser et générer des données de formes d'otolithes avec un petit nombre de fonctions faciles à utiliser. Il existe des fonctions intégrées qui permettent aux utilisateurs d'effectuer des processus automatiques tels que l'extraction des contours d'otolithes à partir d'images, visualiser la forme moyenne, lisser le contour en éliminant le bruit des pixels et transformer les contours en coefficients indépendants à l'aide d'Elliptique Normalisée de Fourier ou discrète de Wavelet. Ces coefficients peuvent être utilisés dans une large gamme de packages et logiciels statistiques pour les analyses multidimensionnelles (Libungan et Pálsson, 2015).

3.2.1. Numérisation des otolithes

L'otolithe est placé à plat (face concave dirigés vers l'observateur) sur un fond noir, puis observé à l'aide d'une loupe binoculaire (Optech) munie d'une caméra vidéo (Oxyrian) reliée à un ordinateur. L'éclairage en lumière réfléchie permet de régler la direction et l'intensité de la lumière afin d'obtenir une image bien claire avec le plus haut contraste possible. Il faut veiller à ce que le contour des pièces soit bien visible. Cela permet ensuite au logiciel R de sélectionner très précisément le contour de l'otolithe. Les otolithes doivent être orientés avec leur rostre vers la gauche (par défaut) comme on le voit sur la figure 09. Les acquisitions des images des *sagittae* ont été réalisées avec le logiciel Future WinJoe (Future Optics). Ce dernier permet de prendre des photos numériques et de les stocker sous forme d'images JPEG.

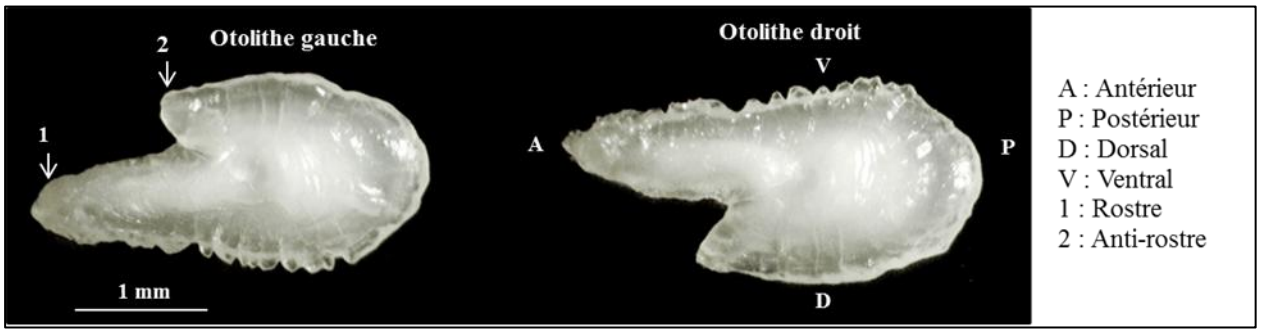


Figure 09 - Positionnement de l'otolithe droit et gauche pour la prise des photos. Exemple de *sagittae* de la sardine.

3.2.2. Préparation des images des otolithes

Pour faciliter la manipulation des images, nous avons créé un dossier nommé par exemple « Bogue », dans ce dernier, un dossier intitulé obligatoirement « Original » est créé, dans lequel, les images de chaque secteur sont stockées dans un dossier nommé par le nom du site, en utilisant les deux premières lettres, par exemple, « AL » représenterait un échantillon provenant de la région d'Alger. Chaque nom d'image d'otolithe dans le dossier 'AL' doit représenter le code du poisson. Ensuite, une copie de l'intégralité du dossier « Original » est réalisée, ce nouveau dossier est nommé par « Fixed ». Les dossiers « Original » et « Fixed » doivent exister parce que les images des deux dossiers sont utilisées lorsque le package shapeR est utilisé pour effectuer des contrôles de qualité sur les contours d'otolithes.

3.2.3. Préparation de la base de données

Un fichier de données pour chaque spécimen de poisson en lignes, avec des informations dans des colonnes telles que la population, la station, la date d'échantillonnage, l'emplacement, la longueur, etc. est stocké dans le même dossier où les images sont stockées. Nous avons travaillé avec un fichier texte dans un format csv (* .csv). Deux colonnes dans le fichier de données sont obligatoires, 'Folder' (se compose de noms de dossier tels que 'AL') et 'picname' (se compose de

noms de fichiers images), qui sont utilisés pour lier l'information biologique pour chaque poisson au contour des otolithes.

La colonne 'length_cm' (Longueur en cm) doit aussi exister pour qu'il soit possible d'éliminer l'effet de la croissance allométrique sur la variation de la forme des otolithes.

Les informations de forme de chaque otolithe (longueur, largeur, périmètre et surface) peuvent être obtenues si les mesures d'étalonnage en pixels ont été enregistrées dans le fichier de données csv, pour cela, une colonne intitulée 'cal' est ajoutée. Dans cette dernière, on inscrit la valeur en pixels équivalente à 1mm réel. Pour obtenir les mesures d'étalonnage, nous avons utilisé un programme de traitement d'images, TSView (version 6.2.4.5) en mesurant 1mm sur une échelle graduée.

3.2.4. Extraction du contour des *Sagittae*

Cette étape a été réalisée par le package ShapeR (Libungan et Pálsson, 2015) du logiciel R. Lorsque de nouvelles images sont placées dans les dossiers 'Original' et 'Fixed', la fonction ‘detect.outline’ les détecte automatiquement. Les fichiers image (JPEG) sont lues dans R à l'aide des fonctions ‘readJPEG’ du package jpeg (Urbanek, 2014) et ‘pixmapGrey’ du package pixmap (Bivand *et al.*, 2011). Pour obtenir le contour de chaque otolithe, nous exécutons la commande de détection de contour utilisant les fonctions ‘conte’ et ‘regularradius’ Claude (2008).

Les contours sont détectés en transformant d'abord les images en échelle de gris. Les images sont alors binarisées en utilisant une valeur de pixel de seuil (seuil d'intensité) qui peut être définie par l'utilisateur. Les contours sont ensuite collectés automatiquement à partir de toutes les images du dossier 'Fixed' (Fig-10).

Une fonction ‘write.outline.w.org’ de seuil est utilisée pour distinguer l'otolithe blanc du fond noir. Le temps de fonctionnement total varie entre les ordinateurs et la résolution d'image. A titre d’exemple, extraire chaque contour des images d'otolithes prend environ 5 secondes avec un système d'exploitation Windows 8.1 et un processeur Intel Core i5 de 1.8 GHz.

Les contours numérisés peuvent avoir un bruit de pixels à haute fréquence autour des contours qui peuvent corrompre l'analyse de Fourier. Pour éliminer le bruit de pixel, il est possible de lisser les contours à l'aide de la fonction ‘smoothout’ (Libungan et Pálsson, 2015).

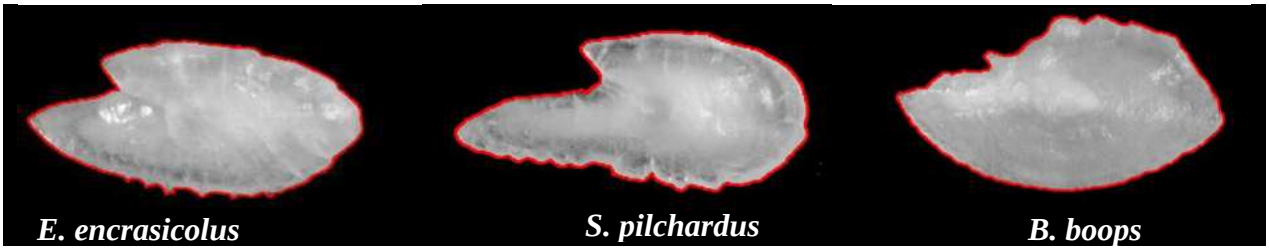


Figure 10 - Exemple d'images d'otolithes gauches après extraction du contour. Le contour rouge marque la forme de l'otolithe.

3.2.5. Descripteurs de distance et indices de forme

La longueur (Lo) et la largeur (Ho) maximales de l'otolithe, son périmètre (Po) et sa superficie ou aire (Ao) appelés descripteurs de distance (Fig-11), peuvent être obtenus avec la fonction 'getMeasurements'. Si les images ont été prises par différents grossissement de la loupe, la valeur en pixel peut être ajustée par l'échelle appropriée pour chaque otolithe figurant dans la colonne 'cal' dans le fichier des données. Les indices de forme sont calculés à partir des descripteurs de distance combinés de manières différentes (Tab-01).

Ces indices donnent des informations sur la similarité des différentes caractéristiques du cercle parfait, décrivent les variations de la longueur et de la largeur par rapport à l'aire et indiquent les changements dans l'axe proportionnels (Tuset *et al.*, 2003 ; Agüera et Brophy, 2011).

Tableau 01- Indices de forme calculés pour chaque otolithe à partir des descripteurs de distance.

Descripteurs de distance	Indices de forme calculés
Surface de l'otolithe (Ao)	Facteur de forme (FF) = (4 πAo) / Po^2
Périmètre de l'otolithe (Po)	Rondeur (Rnd) = (4Ao) / (πLo^2)
Longueur de l'otolithe (Lo)	Circularité (Cir) = Po^2 / Ao
Largeur de l'otolithe (Ho)	Rectangularité (Rec) = Ao / (Lo × Ho)
	Ellipticité (Ell) = (Lo - Ho) / (Lo + Ho)

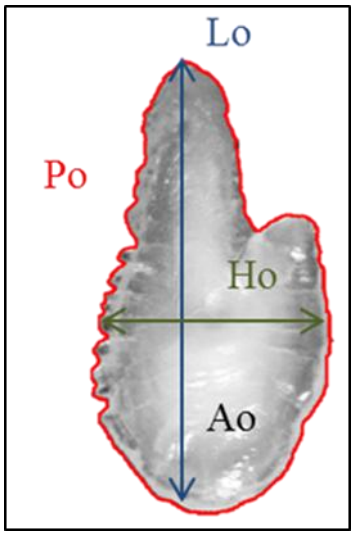


Figure 11 - Descripteurs de distance mesurés (*Sagittae* de *S. pilchardus*).

3.2.6. Analyse elliptique de Fourier

La forme d'un objet (dans notre cas l'otolithe) peut être décrite numériquement par la décomposition de son contour en utilisant les séries de Fourier. Parmi les possibilités d'analyser les contours avec les séries de Fourier, l'analyse par les transformées elliptiques de Fourier est la plus répandue (Stransky et MacLellan, 2005).

Le contour de l'otolithe dans notre cas, est décrit par l'utilisation de la méthode des ellipses de Fourier ; Chaque ellipse est appelée harmonique et est décrite par une somme de fonctions trigonométriques de sinus et de cosinus et dont les paramètres associés sont les coefficients ou descripteurs de Fourier (EFDs). Chaque harmonique (n) est composée de 4 coefficients (An, Bn, Cn et Dn) résultant de la projection de chaque point du contour sur l'axe des abscisses (x) et l'axe des ordonnées (y) (Boudinar, 2016) (Fig-12). Ces coefficients servent de variables descriptives de la forme de l'objet. La première harmonique est une simple ellipse, mais augmenter le nombre

d'harmoniques accroit la complexité de la forme et donc la précision de sa description (Kuhl et Giardina, 1982). La transformation de Fourier est donc calculée comme suit (Kuhl et Giardina, 1982) :

$$X(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n-1}^{N} (A_n \cos n\omega t + B_n \sin \omega t)$$

$$Y(t) = \frac{C_0}{2} + \sum_{n-1}^{N} (C_n \cos n\omega t + D_n \sin \omega t)$$

Avec :

- An, Bn, Cn, Dn : coefficients de Fourier à la n^{ième} harmonique
- $\omega=2\pi/t$
- t : distance de l'arc mesuré le long du contour à partir d'un point de départ arbitraire. t ε [O, T], T étant le périmètre du contour fermé. T est aussi la période.
- n : nombre d'harmoniques
- N : nombre total d'harmoniques utilisés pour approcher X(t).

L'estimation du nombre d'harmoniques nécessaires pour une reconstruction précise du contour est possible par l'utilisation des puissances de Fourier (PF) (Gonzalez-salas et Lenfant, 2007). Selon Morat *et al.* (2008), le calcul de la puissance de Fourier à la n^{iéme} harmonique (PFn) s'effectue comme suit :

$$PFn= (A_n^2+ B_n^2+ C_n^2+ D_n^2)/2$$

Où An, Bn, Cn et Dn sont les coefficients elliptiques de Fourier calculés à la n^{iéme} harmonique.

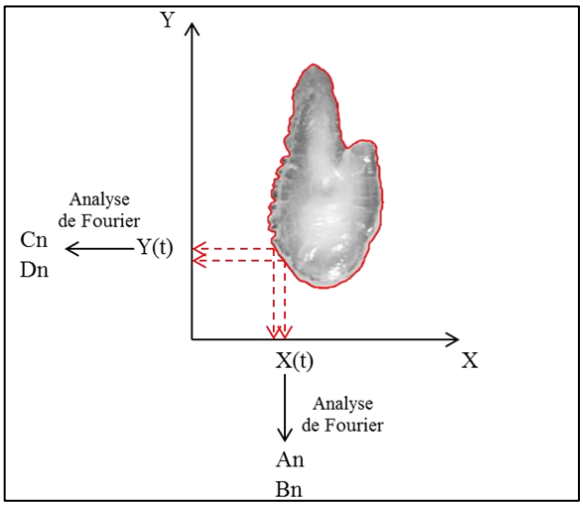


Figure 12 - Projection des points du contour d'un otolithe (*S. pilchardus*) dans un repère en deux dimensions pour l'obtention des coefficients de Fourier.

Dans notre étude, nous avons également utilisé le package ShapeR pour l'obtention des différents coefficients de Fourier. La technique des Elliptiques Fourier Normalisées est réalisée

en utilisant les fonctions 'iefourier' et 'efourier' (Claude, 2008) qui normalisent tous les otolithes en termes de taille et de rotation et recueille les coefficients.

La qualité de la reconstruction de Fourier peut être estimée en comparant la façon dont elle s'écarte du contour des otolithes. Le pourcentage cumulé de la puissance de Fourier (PF_c) est calculé dans le but de déterminer le nombre nécessaire et suffisant d'harmoniques pour une meilleure construction de la silhouette de l'otolithe. Selon Messaoud *et al.* (2011), celle-ci est obtenue pour une valeur égale à 99.99 % de la moyenne du pourcentage cumulé de la puissance de Fourier (PF_c). Par la suite on peut calculer le pourcentage cumulé de la puissance de Fourier (PF_c) :

$$\mathrm{PFc} = \sum_{1}^{n} \mathrm{PFn}$$

Cependant le package considère 12 harmoniques, généralement à partir de 12 harmoniques nous avons une reconstruction du contour qui dépassent les 99.99% (Libungan et Pálsson, 2015).

Au total, 45 coefficients de Fourier Elliptiques Normalisés sont obtenus (48-3 = 45, les trois premiers coefficients sont omis en raison de la standardisation par rapport à la taille, la rotation et le point de départ). Les coefficients de Fourier sont obtenus en utilisant la commande *'generateShapeCoefficients(shape)'*.

Afin d'ajuster la forme des otolithes aux relations allométriques avec les longueurs (Reist, 1985 ; Lleonart *et al.,* 2000), une fonction de standardisation est utilisée 'stdCoefs', cette dernière évalue chaque coefficient de Fourier. Les coefficients qui présentent une interaction ($P < 0,05$), entre populations et longueurs, sont omis automatiquement.

4. Analyses statistiques des données

4.1. Analyse de la covariance (ANCOVA)

Selon Scherrer (2007), l'analyse de covariance (Ancova) procède à la fois à l'analyse de la variance et de la régression linéaire simple. Vue de la manière la plus générale possible, c'est une méthode qui permet de modéliser ensemble les influences d'une variable qualitative multiclasse (critère de classification) et d'une variable quantitative sur une variable dépendante quantitative.

La corrélation entre la longueur du poisson (L_T) et chaque paramètre métrique de l'otolithe (Lo, Ho, Ao et Po) a été testée ; les moyennes de chaque paramètre ont été comparées entre l'otolithe droit et gauche. Les pentes des droites de régression de la relation (L_T) et chaque paramètre de l'otolithe des deux côtés ont également été comparées.

Les tests ANCOVA ont été réalisés à l'aide du logiciel R (R 3.4.0-A Langue Environnement ©2017) dans le but de savoir s'il existait une différence de forme entre les otolithes droit et

gauche pour l'anchois, la bogue et la sardine, et donc s'il était possible d'inclure indifféremment des otolithes droits et gauches dans l'analyse de forme.

4.2. Analyse de variance (ANOVA)

L'analyse de la variance est une technique statistique permettant de comparer les moyennes lorsque l'on a plus de deux populations et/ou un grand nombre de variables. L'analyse de la variance est utilisée pour étudier les différences de moyennes entre populations (Bon, 2007).

Pour notre étude, et afin de déceler d'éventuelles différences au niveau des indices de forme des otolithes en fonction des sites, chaque paramètre est exprimé par sa moyenne. L'analyse de variance (Anova) a été utilisée pour comparer les valeurs moyennes des populations pour chaque espèce.

4.3. Analyse canonique des coordonnées principales (CAP)

Contrairement aux ordinations simples effectuées sur un seul tableau (ACP, AFC, ACoP, NMDS), les ordinations sous contrainte utilisent deux (ou plusieurs) tableaux de données, dont l'un est considéré comme une réponse multivariée dépendante de variables explicatives contenues dans les autres tableaux. Ce sont des extensions de la régression linéaire multiple à une réponse multivariée (Buttler et Gillet, 2008).

L'ordination est supervisée de manière à contraindre les x premiers axes à exprimer des combinaisons linéaires des variables explicatives (régions) disponibles sur les mêmes n objets. On distingue donc deux types d'axes d'ordination : les axes contraints ou axes canoniques et les axes non contraints dont les valeurs propres expriment la variation résiduelle non expliquée par les variables explicatives utilisées dans le modèle de régression multiple (Buttler et Gillet, 2008).

Les ordinations sous contrainte RDA (analyse canonique de redondance), CCA (analyse canonique des correspondances) et CAP (analyse canonique en coordonnées principales) sont dérivées respectivement de l'ACP (Analyse en composantes principales), de l'AFC (Analyse Factorielle des correspondances) et de l'ACoP (analyse en coordonnées principales), dont elles héritent des assomptions et des règles d'interprétation (Buttler et Gillet, 2008).

L'analyse canonique en coordonnées principales (CAP) est une autre alternative à la CCA (analyse canonique des correspondances), qui peut être présentée comme une analyse en coordonnées principales sous contrainte. L'avantage de cette méthode est qu'elle permet de choisir une mesure d'association autre que la distance euclidienne (cas de la RDA) ou la distance du Chi deux (cas de la CCA) (Buttler et Gillet, 2008).

Nous avons appliqué l'analyse canonique des coordonnées principales (CAP) (Anderson et Willis, 2003), à partir des coefficients de Fourier, pour analyser la variation de forme des

otolithes parmi les populations et mettre en évidence l'appartenance d'un échantillon à un groupe prédéfini (sites), en utilisant le package vegan (Oksanen *et al*. ,2013).

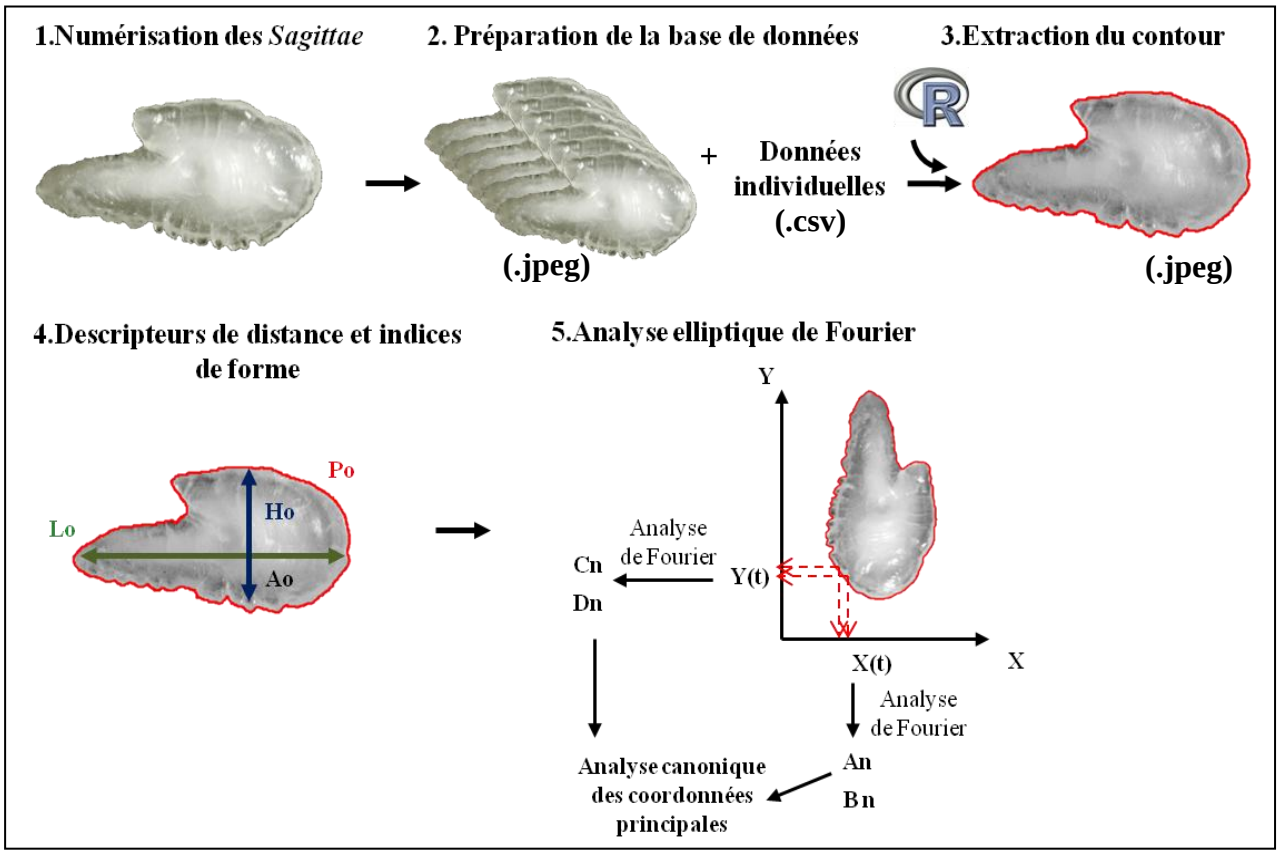


Figure 13 - Méthodologie pour l'acquisition des images des otolithes, détermination des descripteurs de forme et de Fourier.

Chapitre III. Résultats et discussions

1. Composition des échantillons

La boite à moustache nous a permis de résumer les séries de données de manière simple et visuelle. Elle est utilisée pour représenter les distributions de population et permet d'identifier les valeurs extrêmes.

Sur les figures 14, 15 et 16, les boites représentent 50% de la population entre le premier et le troisième quartile (Q1 et Q3) autour de la médiane (trait), les moustaches, délimitent les valeurs dites *adjacentes* qui sont déterminées à partir de l'écart interquartile (Q3-Q1). Les valeurs dites extrêmes ou atypiques situées au-delà des valeurs adjacentes sont individualisées. Elles sont représentées par un point noir. L'extrémité de la moustache inférieure est la plus petite valeur dans les données qui est supérieure à la valeur frontière basse (Q1 -1,5*(Q3-Q1), l'extrémité de la moustache supérieure est la plus grande valeur dans les données qui est inférieure à la valeur frontière haute (Q3 +1,5*(Q3-Q1).

Pour *B. boops*, la population d'Alger présente une valeur de taille maximale de 27,2 cm, correspondant à la valeur atypique (située au-delà de la frontière haute) (Fig-14). La taille minimale est observée chez la population de Jijel (12,5 cm).

Chez *E. encrasicolus*, la longueur totale varie entre 10 et 16,7cm. La valeur maximale a été observée à Beni-Saf, la taille minimale à Bou-Ismail. Pour les échantillons de Beni-Saf et Jijel, une seule valeur est atypique est décelée (Fig-14), celle-ci est située au-delà de la frontière haute pour la population de Jijel et au-delà de la frontière basse pour celle de Beni-Saf. L'échantillon de Bou-Ismail présente deux valeurs atypiques. Ces valeurs n'atteignent pas les valeurs extrêmes observées pour l'ensemble des échantillons.

Chez *S. pilchardus*, la taille totale est comprise entre 8,6 et 18,4 cm. La valeur maximale a été observée à Beni-Saf, la taille minimale à Jijel. Une seule valeur est atypique supérieure est observée pour les échantillons de Ghazaouet et Jijel (Fig-14), cette taille n'atteint pas la valeur maximale observée pour l'ensemble des échantillons.

A l'exception du plus grand individu de bogue observé au niveau d'Alger, globalement, la composition de taille observée pour les trois espèces, montre que les échantillons de Beni-Saf présentent les tailles les plus importantes. Cette région est constamment influencée par les courants froids de l'Atlantique riches en plancton entrant la Méditerranée à travers le détroit de Gibraltar (Millot, 1989), ce qui traduirait une croissance plus importante des individus dans cette région, et c'est ce qui pourrait expliquer les grandes tailles observées.

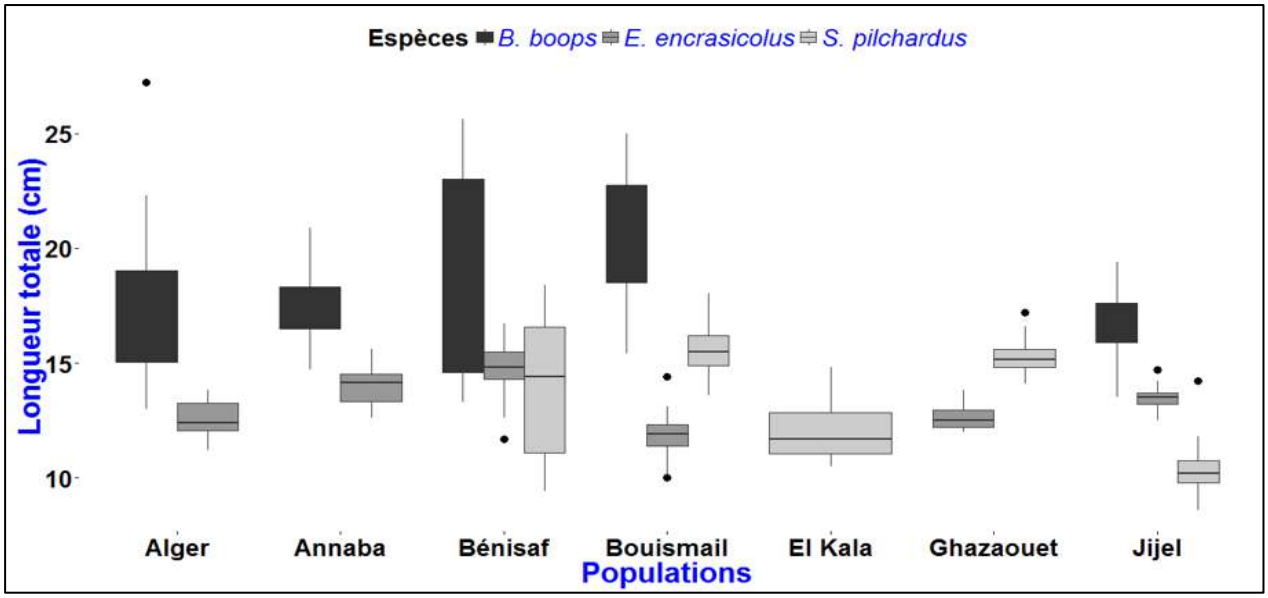


Figure 14 - Diagramme en boîte à moustaches de la distribution des longueurs totales en fonction des populations, et ce pour les trois espèces.

2. Otolithométrie

2.1. Description des otolithes

La *sagittae* de chaque espèce a une forme propre qui la caractérise. Les *sagittae* de la bogue se différencient nettement de celles de la sardine et de l'anchois.

La *sagittae* des espèces pélagiques est largement développée dans un plan vertical et compressée latéralement (Assis, 2005). L'otolithe de l'anchois est de forme ovale, tandis que l'otolithe de la sardine est plus large (Fig-19, Fig-20). Les otolithes de la bogue sont plus larges et épais, ceci s'explique par la gamme de profondeur où vit la bogue (epi-pélagique). La taille relative de la *sagittae* augmente avec la profondeur où vivent les espèces (Jemaa, 2014).

Nous avons noté des changements de forme selon la taille des individus. En effet, chez un individu, les otolithes présentent des changements morphologiques considérables lors de sa croissance, de bien régulièrement elliptiques, ils deviennent de plus en plus crénelés et de plus en plus irréguliers. Nous avons observé que les otolithes de poissons de petite taille montraient des bords finement crénelés (anchois et sardine), le rostre et l'anti-rostre sont à peine visibles chez les individus de la bogue de petite taille. Plus l'individu grandit, les excroissances typiques apparaissent. Chez les poissons de grande taille, les otolithes deviennent plus compacts, et toutes les structures ont tendance à se lisser, chez la bogue, le rostre et l'anti-rostre sont plus visibles, chez la sardine la région entre le rostre et l'anti-rostre s'approfondie.

Comme toutes les structures biologiques, les otolithes présentent une variabilité intra-spécifique (Veen et Hoedemakers, 2005).

Les otolithes de *B. boops*, *E. encrasicolus* et de *S. pilchardus* sont présentés par région, du plus petit au plus grand individu échantillonné. Visuellement, nous avons observé quelques différences de forme entre les régions, pour les tailles moyennes à grandes.

Les *sagittae* de la bogue sont des otolithes de forme elliptique, la marge dorsale est irrégulière, et présente une petite pointe dirigée vers la partie postérieure. La région antérieure est caractérisée par un rostre long, large et légèrement pointu ; l'anti-rostre est très petit et pointu. Alors que la région postérieure est légèrement ronde (Fig-17). Chez *B. boops*, les grands individus de Bou-Ismail de 25cm, une expansion postérieure pointue avec section postérieure plus abrupte est remarquée avec plus de dentitions comparées au grand individu d'Alger (Fig-15).

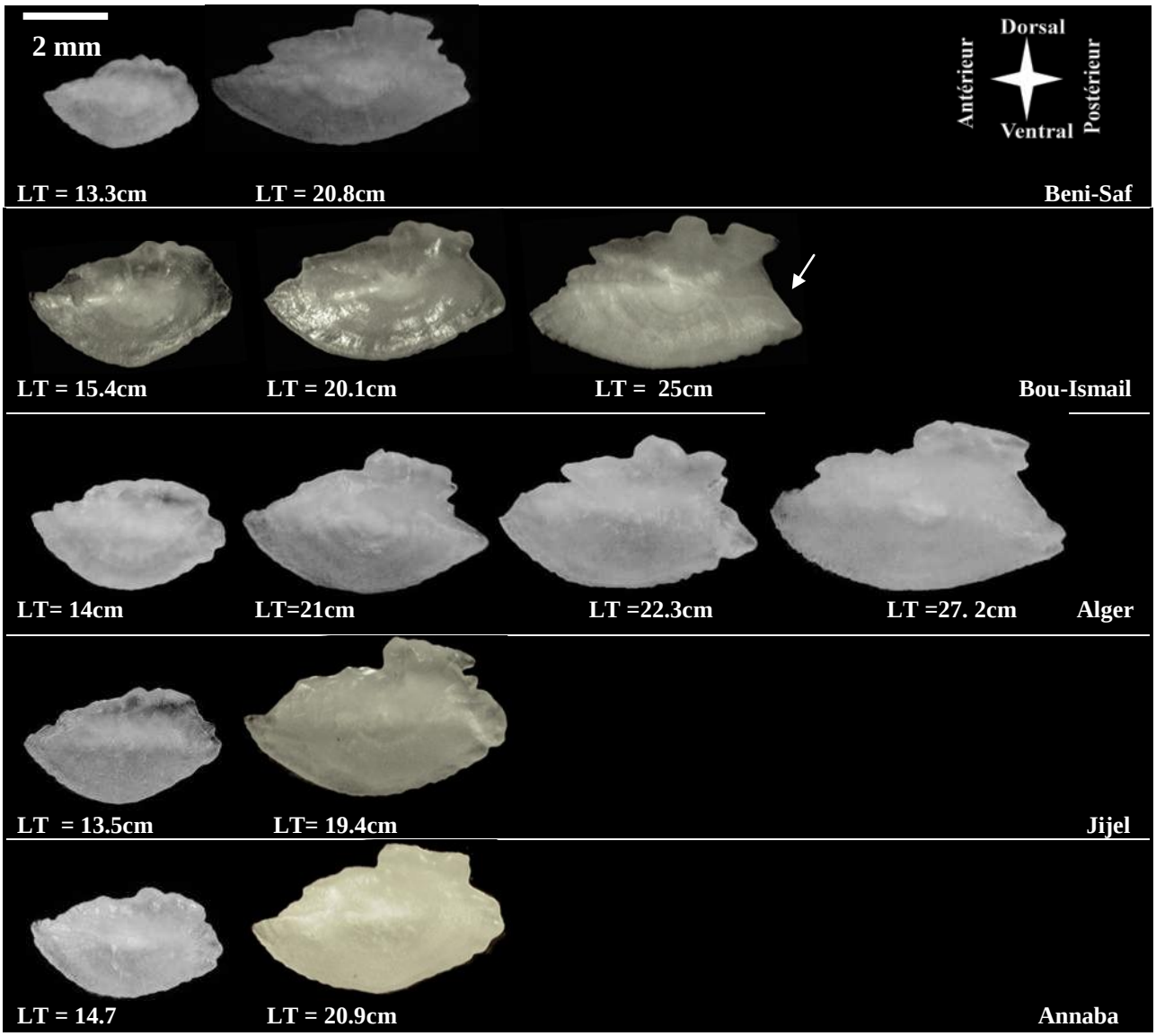


Figure 15 - *Sagittae* de la bogue, *B. boops* observées pour différentes tailles et régions.

Les *sagittae* de l'anchois sont de forme elliptique ; la région antérieure est formée d'un rostre long, pointu et d'un anti-rostre beaucoup plus court et pointu ; l'extrémité postérieure est légèrement arrondie. La marge ventrale est dentelée contrairement à la marge dorsale qui est lisse (Fig-18). Chez *E. encrasicolus*, la région entre le rostre et l'anti-rostre est plus profonde pour les individus de Ghazaouet de taille moyenne comparée aux autres populations (Fig-16).

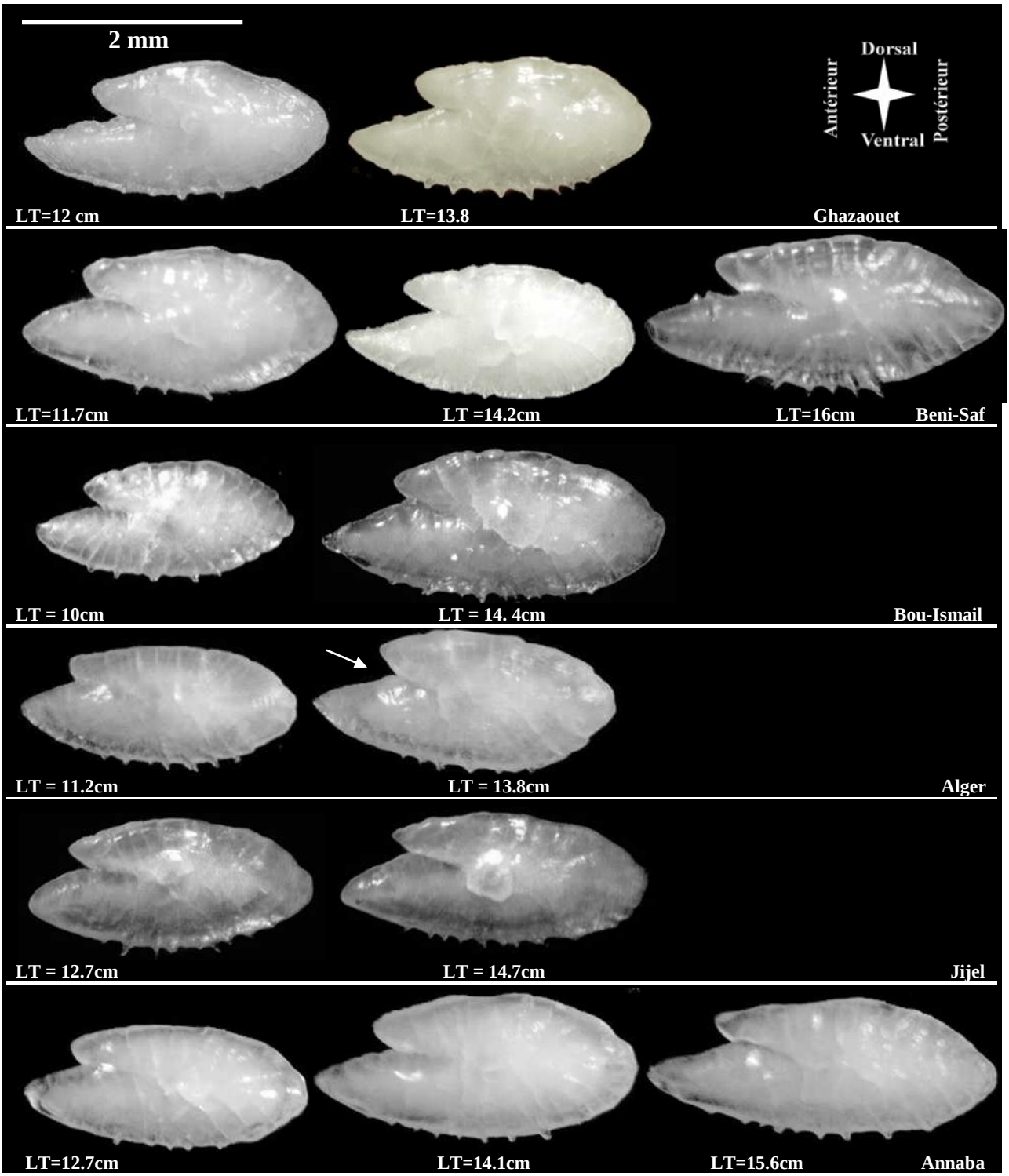


Figure 16- *Sagittae* de l'anchois, *E. encrasicolus* observées pour différentes tailles et régions.

La sardine est caractérisée par des otolithes nettement plus allongés, avec un long rostre qui domine l'anti-rostre ; son extrémité postérieure est large et arrondie. La marge dorsale est lisse, par opposition à la marge ventrale crénelée (Fig-19). Les individus de taille moyenne de la population d'El-Kala se caractérisent par un rostre plus large, la région entre le rostre et l'anti-rostre est moins profonde comparée aux autres populations (Fig-17).

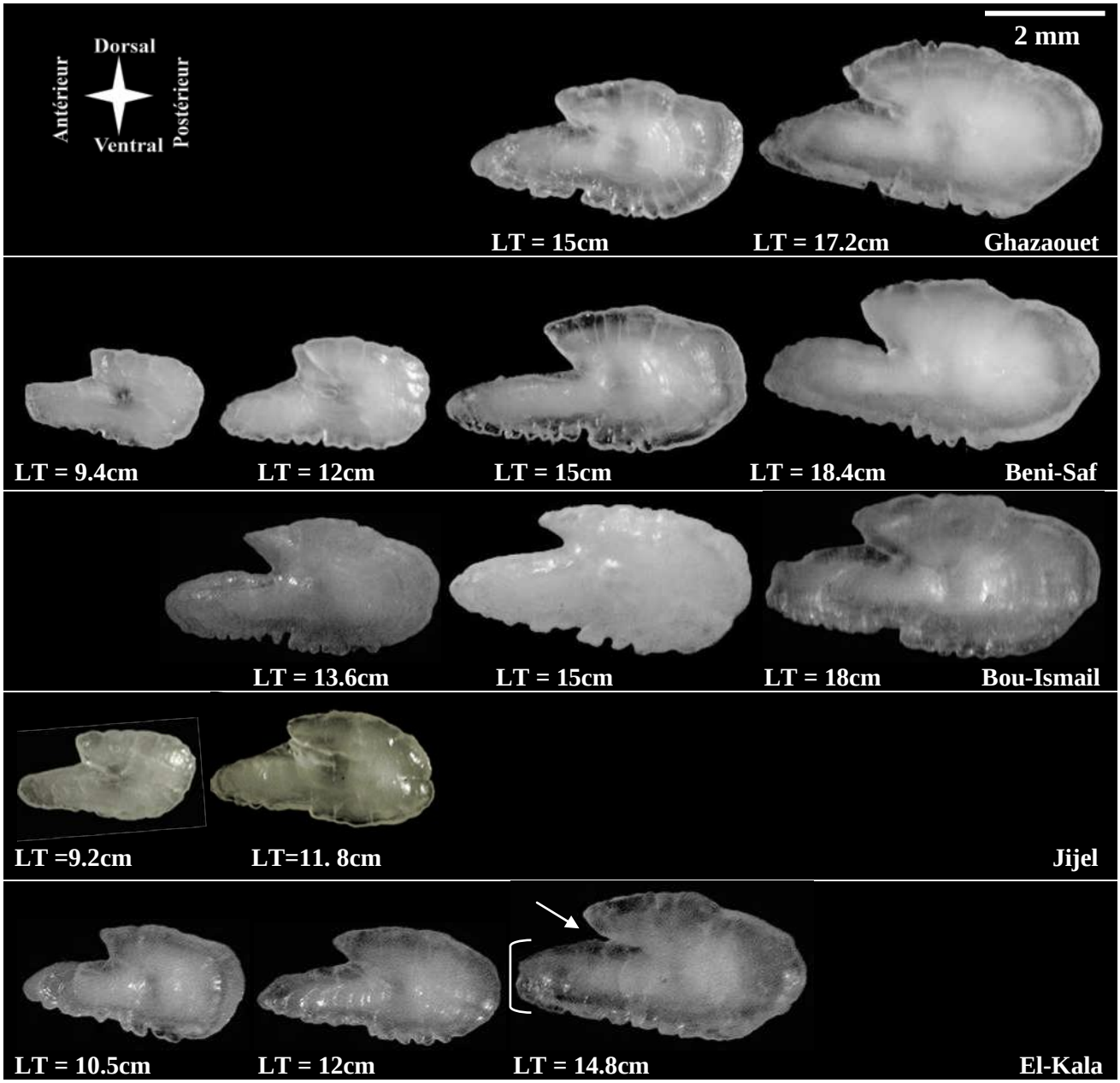


Figure 17 - *Sagittae* de la sardine, *S. pilchardus* observées pour différentes tailles et régions

2.2. Etude de la symétrie des otolithes

La forme des otolithes droits et gauches chez les trois espèces a été comparée, ceci dans le but d'évaluer leur symétrie et de décider sur l'utilisation de l'un et ou de l'autre côté.

L'hypothèse de symétrie de forme a été testée à l'aide d'une analyse de covariance (Ancova). L'Ancova ne montre pas de différence significative entre les moyennes en fonction du côté de l'otolithe et ce pour les quatre variables et chez toutes les espèces. En effet comme montré au niveau du tableau 02, les probabilités sont supérieures à 5% (0.05) et ce que ce soit en comparant les valeurs moyennes ou bien les pentes des droites de régression (L_T en fonction des différentes mesures ; Lo, Ho, Ao et Po).

L'Ancova a montré que chez les trois espèces, les descripteurs de forme (Lo, Ho, Ao et Po) des otolithes droit et gauche présentent une bonne corrélation par rapport à la taille totale du poisson, la relation linéaire est significative entre L_T et les différents paramètres, indépendamment du côté (Ancova, $P < 0,05$).

Les résultats obtenus ainsi révèlent l'existence d'une symétrie de la forme entre les otolithes droit et gauche chez *B. boops*, *E. encrasicolus* et *S. pilchardus*. Cette symétrie est généralement observée chez les poissons ronds contrairement aux poissons plats (Panfili *et al*., 2002). Nous avons opté pour le côté qui présente un effectif plus important, respectivement : otolithe droit pour la sardine et l'otolithe gauche pour deux autres espèces.

Tableau 02 - Résultats de l'analyse de covariance pour *S. pilchardus* (1), *E. encrasicolus* (2) et *B. boops* (3).

Réponses		1	2	3	Significativité
Différence de moyennes en fonction du côté de l'otolithe	Lo_D-L_{OG}	0.544	0.729	0.713	NS
	Ho_D-H_{OG}	0.262	0.985	0.571	NS
	Ao_D-A_{OG}	0.921	0.582	0.979	NS
	Po_D-P_{OG}	0.776	0.920	0.681	NS
Différence de pentes reliant des droites entre la taille de l'individu et les variables des deux côtés de l'otolithe.	Lo_D-L_{OG}	0.6496	0.516	0.587	NS
	Ho_D-H_{OG}	0.5027	0.712	0.501	NS
	Ao_D-A_{OG}	0.7171	0.368	0.207	NS
	Po_D-P_{OG}	0.6705	0.229	0.513	NS

Lo : Longueur de l'otolithe, Ho: Largeur de l'otolithe, Ao : Surface de l'otolithe, Po : Périmètre de l'otolithe, D : Droite, G : Gauche. NS : Non Significative.

2.3. Comparaison des stocks

2.3.1. Indices de forme

Les différences entre les indices de forme selon les sites d'échantillonnage ont été testées par une analyse de variances (ANOVA) utilisant le logiciel Statistica 6.

Chez les trois espèces étudiées, la comparaison des indices de forme indique une différence significative entre les échantillons et pour l'ensemble des indices utilisés (ANOVA, $P < 0,05$). Selon le paramètre considéré, les différences sont plus ou moins prononcées.

Chez *B. boops*, les valeurs de circularité et de facteur de forme indiquent que les otolithes de Beni-Saf, Bou-Ismail et Annaba sont plus irréguliers comparés aux régions d'Alger et Jijel (Tab-03). Ces indices estiment l'irrégularité de la surface de l'otolithe et donnent des informations sur la similarité des différentes caractéristiques du cercle parfait. Plus la valeur de circularité est élevée, plus la forme est irrégulière.

Chez *E. encrasicolus*, les otolithes de la région de Jijel sont les plus irréguliers par rapport aux autres régions (Tab-03).

La forme des otolithes de *S. pilchardus* de la région de Jijel était la plus ronde et régulière (Tab-03), puisque ce sont des individus de petite taille, plus l'individu grandit, plus la forme devient irrégulière. La forme des otolithes d'El-Kala était la plus irrégulière. Les indices circularité, rondeur et facteur de forme sont les variables qui nous ont permis de détecter les changements dans la forme de l'otolithe. Les autres indices de forme, ont montré des valeurs très proches.

Tableau 03 - Moyennes des indices de forme des otolithes, des différentes populations et résultats de l'ANOVA (significativité testée au risque de 0,05).

Régions	Effectif	Facteur de forme	Rondeur	Circularité	Rectangularité	Ellipticité	P
B. boops							
AL	49	0,424	0,504	29,797	0,677	0,262	<0,05
AN	21	0,383	0,492	33,227	0,674	0,272	
BE	34	0,375	0,479	33,907	0,648	0,267	
BO	15	0,373	0,494	33,972	0,653	0,255	
JI	22	0,410	0,502	30,784	0,669	0,259	
E. encrasicolus							
AL	12	0,335	0,407	37,610	0,692	0,369	<0,05
AN	21	0,324	0,389	39,022	0,683	0,383	
BE	91	0,305	0,389	41,936	0,674	0,377	
BO	40	0,322	0,398	39,234	0,678	0,369	
GH	6	0,313	0,395	40,856	0,662	0,362	
JI	32	0,304	0,412	43,275	0,682	0,357	
S. pilchardus							
BE	34	0,344	0,443	37,362	0,676	0,321	<0,05
BO	36	0,313	0,433	40,434	0,678	0,332	
EL	29	0,307	0,451	41,178	0,686	0,319	
GH	27	0,327	0,427	38,574	0,675	0,337	
JI	59	0,374	0,458	33,771	0,681	0,309	

2.3.2. Analyse du contour de la *sagittae* : analyse elliptique de Fourier

2.3.2.1. Détermination du nombre d'harmoniques

La variation de la moyenne des pourcentages cumulés de la puissance de Fourier (Fig-18) indique que la forme des otolithes des trois espèces étudiées peut être décrite avec 12 harmoniques. C'est à dire les 48 premiers coefficients de Fourier (12x4 coefficients A, B, C et D). Cependant, les trois premiers coefficients de la première harmonique (A1, B1 et C1) ont été éliminés suite à la standardisation par rapport à la taille et l'orientation de l'otolithe ainsi que le point de départ choisi pour la projection du contour. Et par conséquent, seuls les 45 premiers coefficients de Fourier (48-3) permettent de définir au mieux la forme de l'otolithe. Nous ne retenons donc que 45 variables (coefficients de Fourier) pour l'analyse statistique. Nous illustrons ici un seul graphique car les résultats étaient semblables en termes de pourcentage pour toutes les espèces.

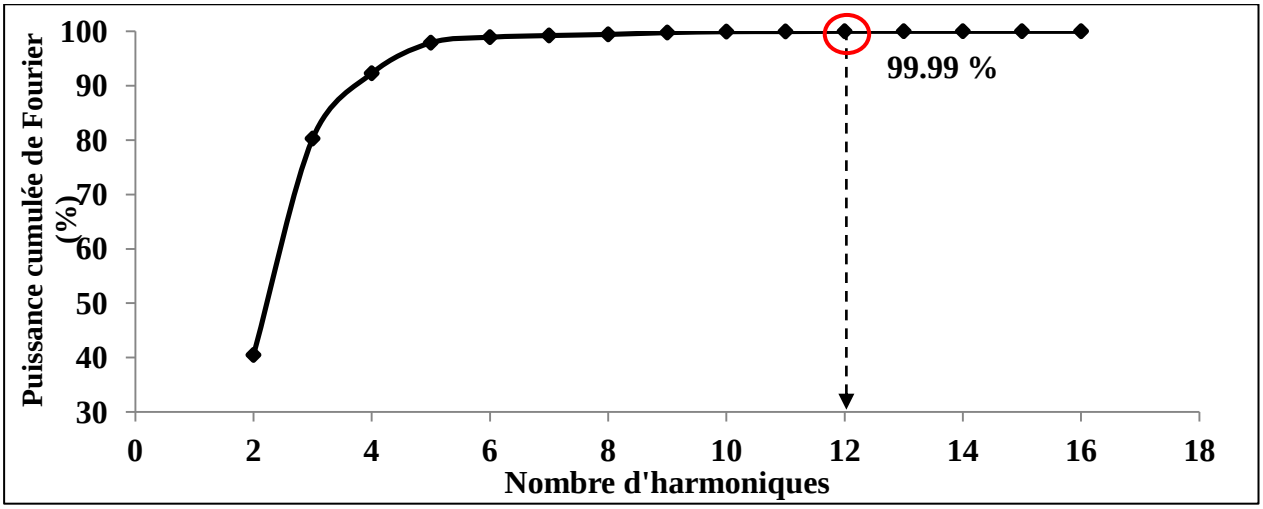


Figure 18 - Variation de la moyenne des pourcentages cumulés de la puissance de Fourier par rapport au nombre d'harmoniques décrivant la forme des otolithes.

2.3.2.2. Discrimination par l'analyse canonique des coordonnées principales

La forme de l'otolithe moyen de chaque région a été reconstruite à partir des 45 coefficients de Fourier, et comparée entre six populations de la côte algérienne pour l'anchois et la sardine et cinq populations pour la bogue. Des différences de forme ont été observées entre les régions, ces différences se situent dans des zones spécifiques du contour d'otolithes.

La discrimination entre la forme des otolithes des populations de *B. boops*, *E. encrasicolus* et *S. pilchardus* a été réalisée par l'analyse canonique des coordonnées principales (CAP) appliquée sur les 45 coefficients de Fourier. L'analyse canonique des coordonnées principales donne un aperçu de la différenciation de la forme des otolithes parmi les populations qui ont été jugées significatives par l'ANOVA (Tab-05, $P < 0,05$) et ce pour les trois espèces.

Tableau 04 -Comparaison de la forme des otolithes chez différentes populations utilisant une ANOVA comme test de permutation.

Régions	Ddl	SC	F	Pr
B. boops				
Factoriel	4	0.087	6.932	<0,05
Résiduel	136	0.424		
E. encrasicolus				<0,05
Factoriel	5	0.407	10.456	
Résiduel	196	1.524		<0,05
S. pilchardus				
Factoriel	3	0.197	11.348	<0,05
Résiduel	135	0.783		

Pour l'espèce *B. boops*, les otolithes moyens des spécimens pêchés au niveau du secteur de Bou-Ismail montrent une nette différence de forme par rapport aux autres zones géographiques étudiées, cette différence est principalement marquée au niveau du rostre et du post-rostre (Fig-21). Chez les autres populations, la forme moyenne est semblablement similaire, mais présente tout de même une légère différence au niveau du rostre et de l'anti-rostre ; les faces ventrales et dorsales ne montrent pas de variations entre ces populations. Cependant l'analyse canonique révèle plus de résultats point de vue statistique.

La première fonction canonique (CAP 1) représentée par l'axe des abscisses, présente à elle seule 79,4% de la dispersion totale. Tandis que la deuxième (CAP 2) présentée par l'axe des ordonnées représente 15,4% de la dispersion totale. Les centroïdes représentent la valeur canonique moyenne pour chaque population (Fig-20).

La projection des individus sur le plan défini par l'axe 1 met la population de Bou-Ismail en évidence, les autres groupes de populations se chevauchent. En effet, les populations d'Alger, Beni-Saf et Jijel montrent une similitude de forme avec la population d'Annaba positionnés proches sur l'axe. En considérant toujours la valeur canonique moyenne (centroïde), la population d'Annaba montre une différence avec les autres populations si on se projette sur l'axe 2. D'après l'analyse du contour de l'otolithe, on conclut que les populations de *B. boops* de la côte algérienne semblent ne pas être discriminées selon la barrière géographique entre les deux bassins. Cependant, il existe des groupes dont la forme diffère, nous pouvons séparer les populations en 3 groupes. Le groupe représenté par le stock de la baie de Bou-Ismail, le deuxième par les populations de Beni-Saf, Jijel et Alger et le dernier par le stock d'Annaba.

Nous pouvons expliquer ces différences aux conditions environnementales. En effet, la forme de l'otolithe présente une forte variabilité liée aux conditions environnementales locales comme la profondeur (pression), la température de l'eau, la nourriture et le type de substrat (Gagliano et McCormick, 2004; Hüssy, 2008; Lombarte et Lleonart, 1993; Merigot *et al.*, 2007). Cependant

même si parfois les conditions ne sont pas les même entre deux sites, comme entre le secteur de Beni-Saf et Alger pourrait être lié à la capacité d'adaptation de l'espèce *B. boops*. Ce poisson se déplace de la Méditerranée vers l'océan (du Sud vers le Nord) (Lazar, 1984 ; El Kadi, 1986 *in* Souilah, 2008) ; et fréquent également dans l'Atlantique oriental et au Sud de la Mer du Nord où il effectue des migrations saisonnières (Wheeler, 1969 *in* Souilah, 2008), de plus l'espèce peut s'introduire parfois dans les étangs salés (Lamrini, 1988). Ce qui montre sa capacité à s'adapter aux variations des conditions du milieu, cette migration pourrait expliquer l'homogénéité de *B. boops* entre quelques secteurs différents, elle possèderait alors une capacité de dispersion élevée.

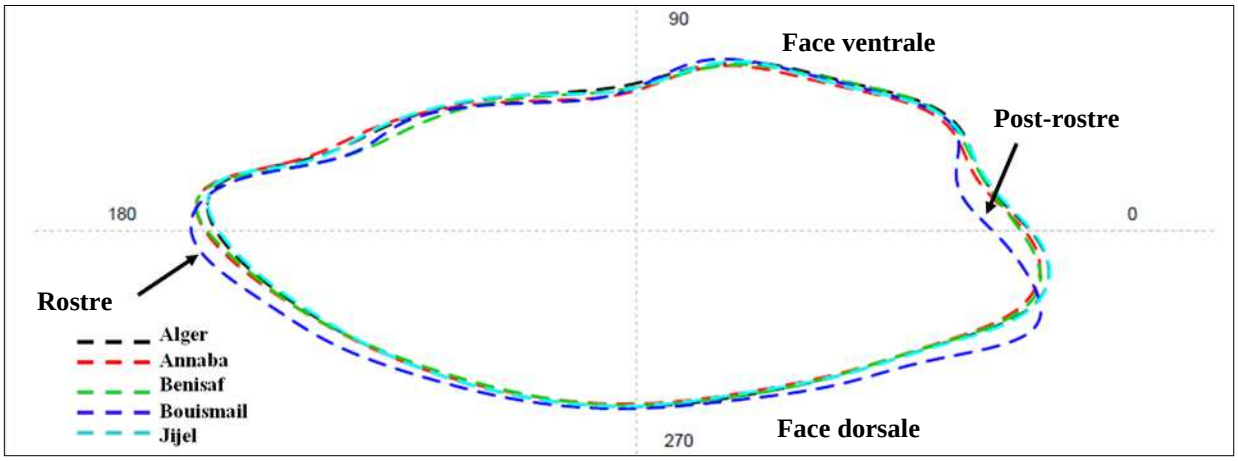


Figure 19 – Représentation de la forme moyenne d'otolithes des populations de *B. boops.*

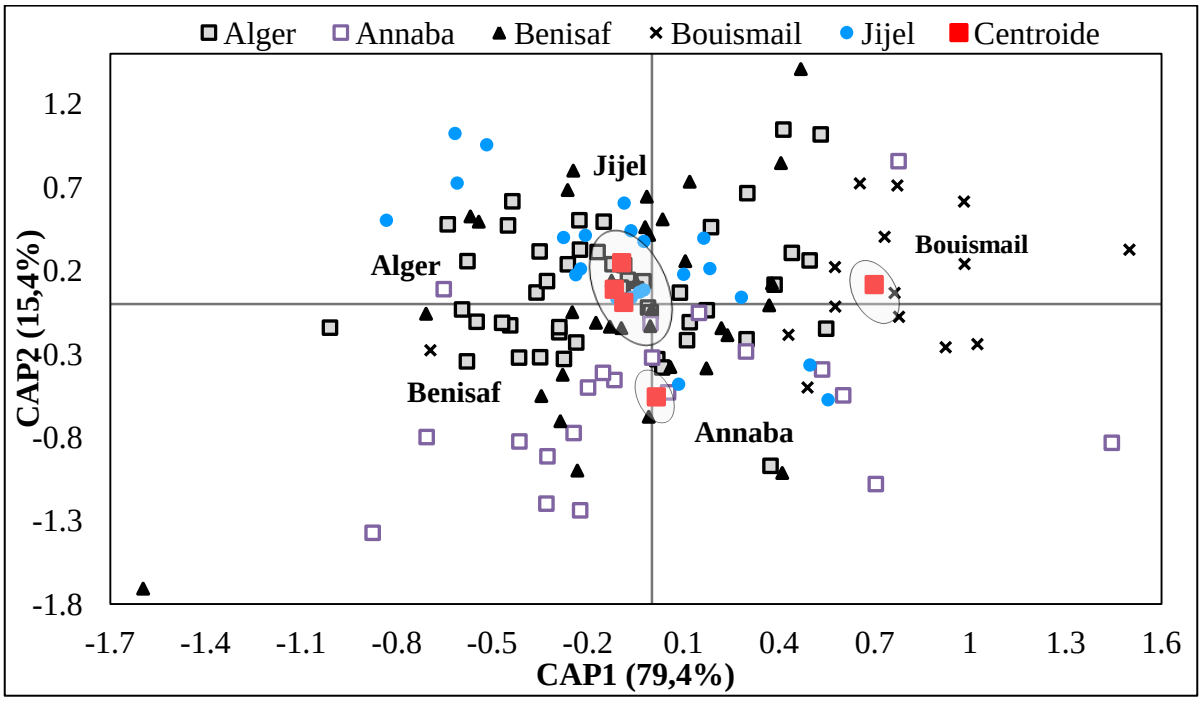


Figure 20 - Forme d'otolithes gauches d'échantillons provenant de six populations de bogue de la côte algérienne en utilisant l'analyse canonique des coordonnées principales avec les coefficients de Fourier.

Chez l'anchois, la variation la plus élevée de la forme moyenne entre les populations se retrouve dans le sens de la longueur de l'otolithe, et plus spécifiquement entre le rostre et l'anti-rostre ainsi que sur la face ventrale et le post-rostre à un degré moindre.

Les otolithes moyens des régions de Ghazaouet et de Bou-Ismail se démarquent nettement de la forme de l'*excisura*, comparés aux autres régions (Fig-21). Bacha *et al*. (2014) avaient signalé les mêmes zones de variabilité du contour des otolithes pour l'anchois de la Méditerranée occidentale.

La zone *excisura* est la plus profonde pour la région de Ghazaouet, une légère différence a été observée au niveau du post-rostre entre les populations d'Alger, Annaba, Beni-Saf et les autres populations. La face dorsale et la face ventrale ne montrent pas de grandes variations entre les populations.

La première fonction canonique (CAP 1) représente à elle seule 86,5% de la dispersion totale. Tandis que la deuxième (CAP 2) représente seulement 7,4% de la dispersion totale.

La projection des individus sur le plan défini par l'axe 1 met le groupement de Bou-Ismail et de Ghazaouet en évidence, les groupes de populations d'Alger, Annaba, Jijel et Beni-Saf se rapprochent entre eux (Fig-22). Ces populations montrent une similitude de forme. Les populations de Ghazaouet et de Bou-Ismail présentent alors une forme d'otolithe différente des autres populations.

Pour *E. encrasicolus,* plusieurs études ont signalé l'hétérogénéité des stocks de cette espèce et suggèrent la présence de plus qu'une forme en méditerranée (Magoulas *et al*., 1996, 2006; Borsa, 2002 ; Messaoud *et al*., 2011).

Nous regroupons les populations d'anchois de nos côtes en trois groupes. Le premier renferme le bassin Algéro-provençal (Alger, Annaba, Jijel) avec le stock de Beni-Saf, un deuxième groupe renfermant la population d'anchois de la baie de Bou-Ismail; un dernier groupe de la mer d'Alboran (Ghazaouet).

Fage (1911) *in* Hemida (1987) suggérerait l'existence de deux populations d'anchois : population d'Atlantique et population méditerranéennes. L'étude de Benmansour (2009) suppose l'appartenance de la population de Ghazaouet au groupe du bassin Algéro-provençal, étude basée sur les caractères méristiques au niveau de la région de Ghazaouet. La présente étude sur l'analyse de forme des otolithes n'est pas en concordance avec ses résultats, puisque nous avons observé une nette séparation du groupe Ghazaouet. Cependant, les présents résultats sont semblables à ceux des études génétiques qui soulignent l'isolement de l'anchois de la mer d'Alboran précisément du secteur de Ghazaouet du reste de la Méditerranée (Chairi *et al*., 2007 ;

Viñas *et al*., 2013), ainsi que l'étude des stocks d'Atlantique et de la Méditerranée par analyse de la forme des otolithes (Jemaa, 2014).

La différenciation entre les populations de la mer d'Alboran et du bassin Algéro-provençal semble être liée au front hydrologique Alméria-Oran. Il est connu que le front Almeria-Oran représente une barrière hydrologique importante qui peut entraîner une discontinuité dans les variations génétiques (Quesada *et al.*, 1995 ; Roldan *et al*., 1998 ; Naciri *et al.*, 1999 ; Rios *et al.*, 2002 ; Patarnello *et al*., 2007 ; Chlaida, 2009), il agirait alors comme une barrière de dispersion de l'anchois. Les caractéristiques océanographiques comme les gyres, jouent un rôle important sur la rétention et la concentration des larves de l'anchois (Sabatés *et al*., 2013). L'anchois est une espèce dont les frayères et les nourriceries sont relativement côtières ce qui peut expliquer l'isolement des populations par la présence de certaines structures hydrologiques ou des péninsules et détroits (Jemaa, 2014).

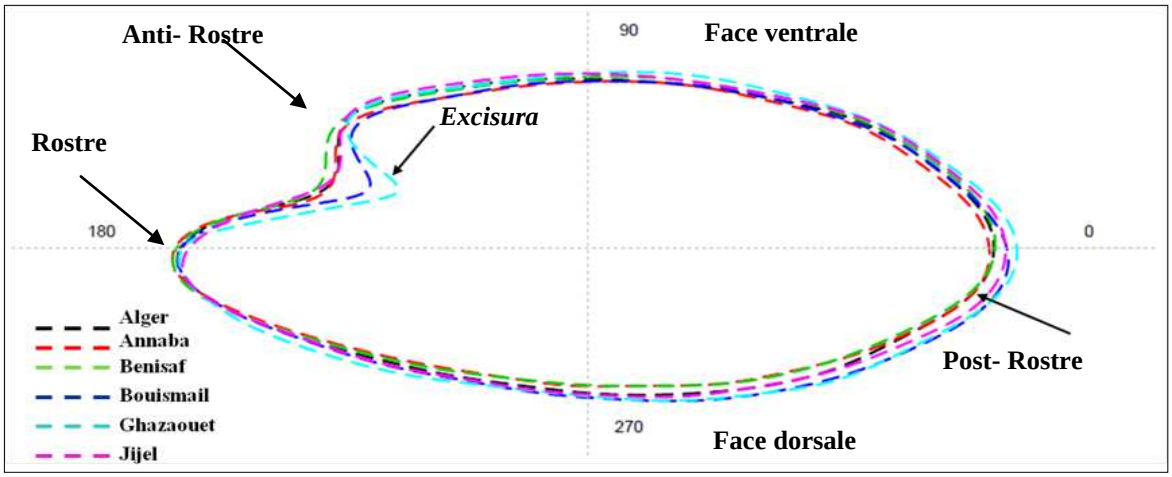


Figure 21 - Représentation de la forme moyenne d'otolithes des populations d'*E. encrasicolus*.

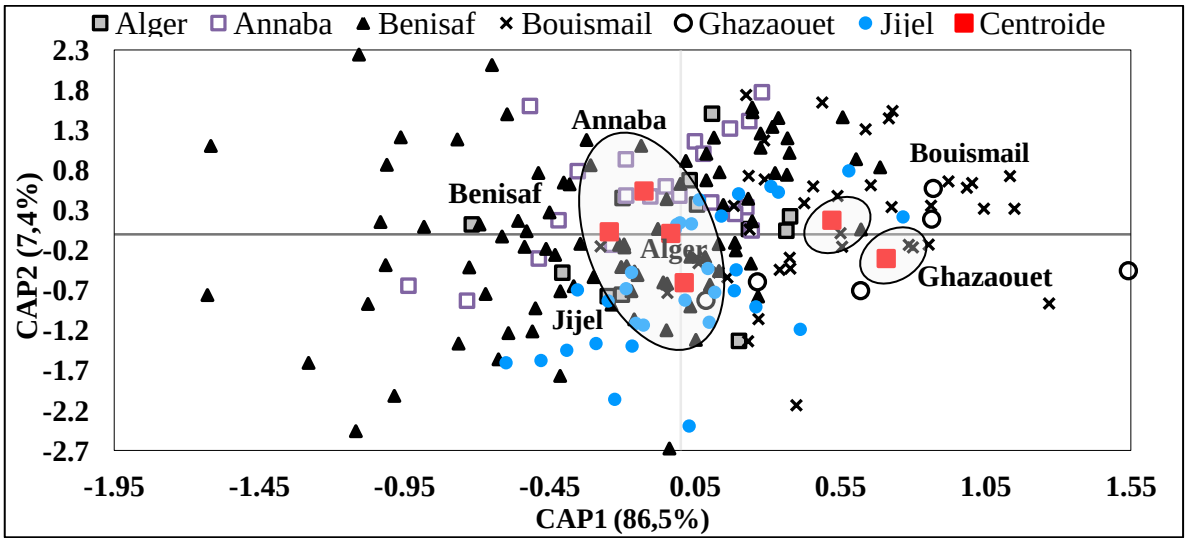


Figure 22 - Forme d'otolithes gauches d'échantillons provenant de six populations d'anchois de la côte algérienne en utilisant l'analyse canonique des coordonnées principales avec les coefficients de Fourier.

Chez la sardine, les populations de Ghazaouet, Beni-Saf, Bou-Ismail et Jijel présentent une forme d'otolithe moyen presque similaire ; les zones de variation concernent l'anti rostre et le post-rostre (Fig-23). Les otolithes moyens des individus de Jijel se différencient par un anti-rostre et un post-rostre plus petits par rapport aux autres, ceci peut être dû à l'échantillon, dont les individus sont de petite taille comparée aux autres échantillons de sardines. Les otolithes moyens des individus d'EL-Kala se différencient par une face dorsale légèrement plus large que les autres populations.

La première fonction canonique (CAP 1) présente 79,4% de la dispersion totale. Tandis que la deuxième (CAP 2) représente 15,4% de la dispersion totale.

La projection des individus sur le plan défini par l'axe 1 met le groupement de Bou-Ismail et El-Kala en évidence, tandis que les trois autres populations se rapprochent (Fig-24). D'après la projection des centroïdes sur l'axe1, les populations de Beni-Saf et Ghazaouet montrent une similitude de forme avec la population de Jijel, positionnées proches sur l'axe1, ces trois sites montrent une différence de forme avec les populations de sardines d'El-Kala et de Bou-Ismail puisqu'ils sont éloignés sur l'axe1 des autres populations.

Les résultats obtenus pour *S. pilchardus* ont permis la distinction de trois groupes : 1) le groupe rassemblant les populations de sardines Ghazaouet, Beni-Saf et Jijel; 2) le groupe Bou-Ismail et 3) le groupe d'El-Kala.

Les résultats obtenus par Lee, 1961 basés sur les caractères métriques et méristiques indiquent une hétérogénéité de la population de sardine en Méditerranée, d'autres résultats obtenus par l'analyse des marqueurs allozymiques (Ramon et Castro, 1998 ; Laurent *et al*., 2007) et par les marqueurs ADN (Atarhouch *et al*., 2006), montrent que les échantillons prélevés en mer d'Alboran sont distincts de ceux du reste de la Méditerranée. Le front Almeria-Oran semblerait avoir un effet sur la structure génétique de la sardine (Atarhouch, 2006). Ce qui ne coïncide pas avec nos résultats.

Une étude plus récente basée sur l'analyse de forme des otolithes, a montré une homogénéité de la population de la sardine au sein de la Méditerranée. Ainsi, le front Alméria-Oran ne constituerait pas une barrière efficace pour la séparation des populations de sardines (Jemaa, 2014). Chez la sardine, l'absence de relations avec les structures océanographiques pourrait être attribuée à sa capacité de mobilité et de dispersion plus élevée comparée à l'anchois (Checkley *et al.*, 2009).

Le groupe d'El-Kala se différencie des autres populations et pourrait appartenir au groupement de la Tunisie, c'est une région caractérisée par des apports importants d'eau douce provenant de

plusieurs cours d'eau, se déversant dans la mer. La différence de forme est au niveau de la largeur. Gauldie et Nelson (1990) ont constaté que le taux de croissance avait un lien direct avec la forme des otolithes, car une croissance plus rapide produit généralement des otolithes plus longs et plus minces. Ce qui indique une croissance moins importante chez la sardine d'El-Kala.

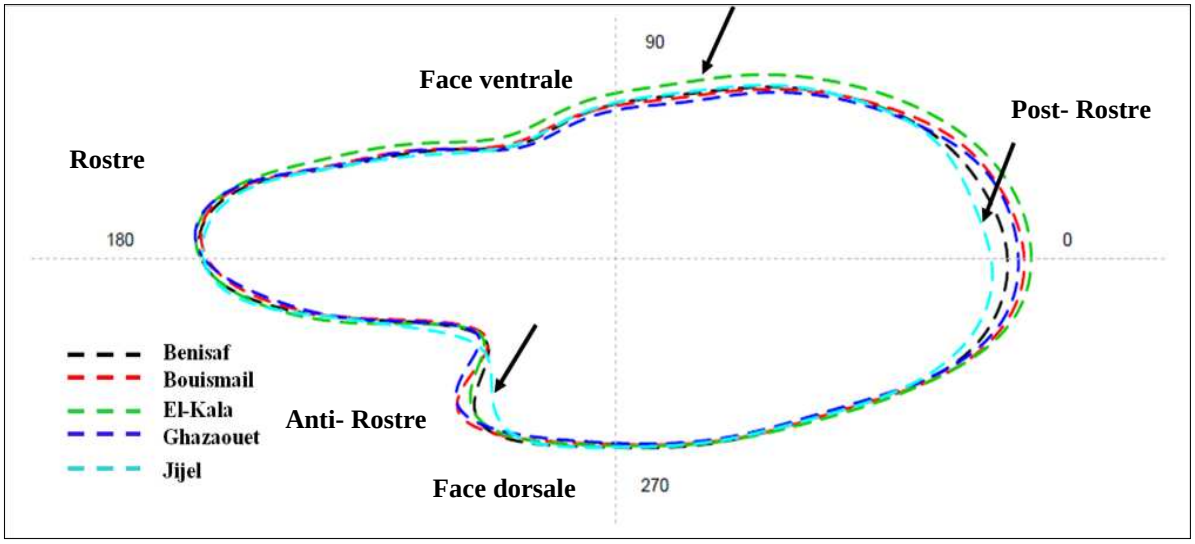


Figure 23 - Représentation de la forme moyenne d'otolithes des populations de *S. pilchardus*.

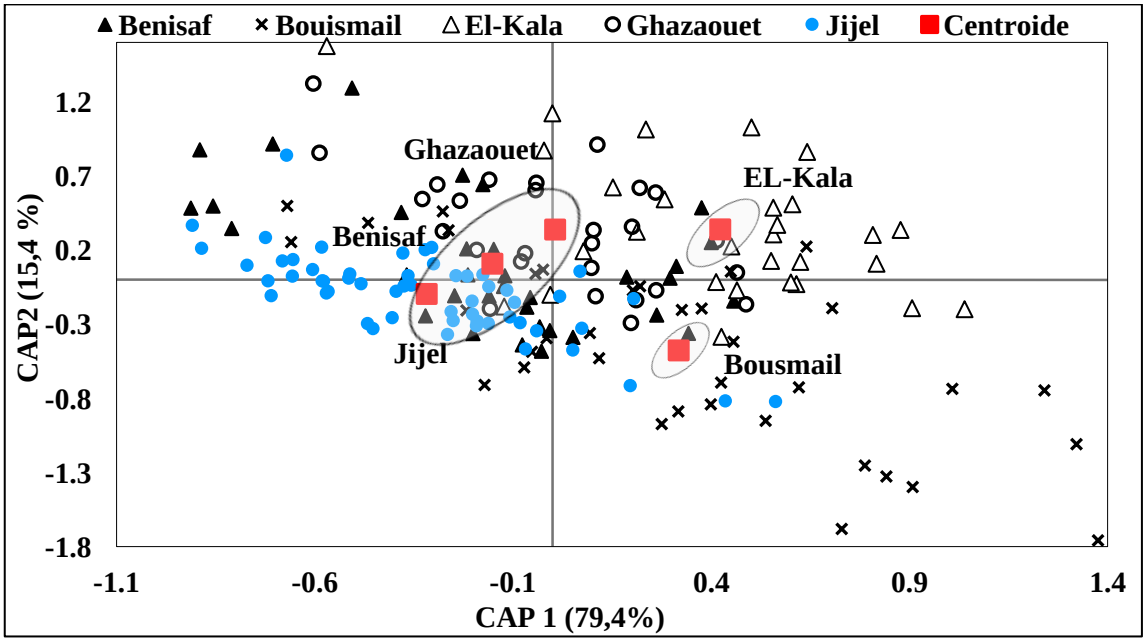


Figure 24 - Forme d'otolithes gauches d'échantillons provenant de cinq populations de sardine de la côte algérienne en utilisant l'analyse canonique des coordonnées principales avec les coefficients de Fourier.

Pour les trois espèces, la population de Bou-Ismail se distingue des autres groupes. Bou-Ismail est une zone de fort hydrodynamisme qui longe pratiquement toute la côte de la baie et qui s'expliquerait par le courant côtier et la dérive littorale (Bakalem, 2008). Ajouté à cela, les cartes thermographiques obtenues en baie de Bou-Ismail et dans la région de Gouraya à Cherchell (Fig-25) mettent en évidence une couche d'eaux chaudes s'étendant sur plus de 200 km, ça pourrait être l'aboutissement d'un front thermique où la formation intermédiaire d'une masse d'eau froide (Houma et Bachari, 2008 *in* Houma, 2009). Ce front thermique révèle la présence d'une zone de pêche importante en petits pélagique qui s'explique par une remontée d'eau froide des fonds qui rentre en fusion avec une masse d'eau chaudes de surface et ayant un phénomène d'Upwelling (Houma, 2009). Ce phénomène agirait peut-être sur la dispersion de la bogue, de l'anchois et de la sardine.

D'autres facteurs tels que la provenance des échantillons débarqués, la bathymétrie, le sexe et l'âge des individus pourraient expliquer cette hétérogénéité observée chez les trois espèces le long du littoral algérien.

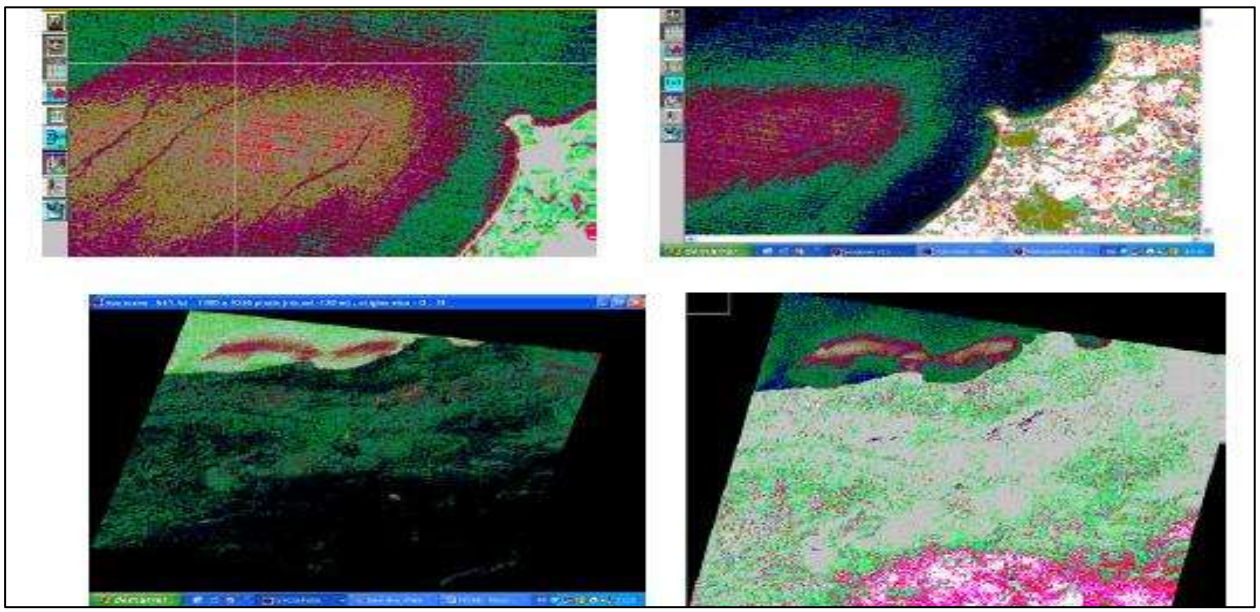


Figure 25 - Image de la température de surface enregistrée par le radiomètre infrarouge (Houma, 2009).

Conclusion et perspectives

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons utilisé l'analyse elliptique de Fourier et les descripteurs de forme (circularité, rectangularité, ellipticité) des otolithes d'anchois, de bogues et de sardines pour analyser la structure des populations de ces trois espèces le long de leurs aires de répartition dans les eaux algériennes.

Selon les résultats, il n'y avait aucune différence entre les otolithes droit et gauche des trois espèces. Par conséquent, pour les études futures concernant la bogue, l'anchois et la sardine, l'otolithe sagittal droit ou gauche peut être utilisé. Les indices de forme ont été utilisés pour décrire la morphologie des otolithes, ces indices ont confirmé les différences de forme observées entre les différents sites d'échantillonnage, et affirmé que la forme des otolithes était fortement liée à la taille du poisson, d'où la nécessité de la standardisation des données.

L'utilisation du package shapeR nous a permis de collecter et d'analyser facilement les données de formes d'otolithes. Son usage peut être utile dans toute étude comparative tant au niveau de la population que de l'espèce et pourrait être utilisée dans des études de variation sur les objets bidimensionnels. Le package permet aux utilisateurs d'analyser un grand nombre d'images automatiquement.

Les traitements statistiques multi-variés par l'analyse canonique des coordonnées principales appliqués aux coefficients de Fourier confirment l'utilité de l'analyse de la forme des otolithes pour l'identification des stocks à des échelles spatiales petites.

La variation de la forme des otolithes des poissons de populations distinctes géographiquement est un excellent moyen pour la discrimination des stocks et qui peut être un outil servant à la phylogénie ce qui est très important pour la gestion des stocks.

En effet, l'étude dans la majeure partie de la distribution de la gamme des espèces étudiées a révélé une structure de population complexe, offrant une nouvelle perspective sur les stratégies de conservation et de gestion des stocks de pêche.

Dans la gamme de la distribution à petite échelle des trois espèces, trois populations ont été clairement identifiés dans cette étude. Cependant, leur structure liée aux caractéristiques océanographiques, les rend plus complexe. Les résultats actuels suggèrent que les différences morphologiques, observées avec l'analyse de la forme des otolithes, peuvent être plus utiles.

Les facteurs qui influencent la forme des otolithes ne sont pas entièrement compris et ne sont pas étudiés directement ici. La forme des otolithes, parmi d'autres traits morphométriques comme la forme du corps, est une caractéristique qui reflète l'effet combiné de la variation génétique et des

facteurs environnementaux locaux (Cardinale *et al.,* 2004, Tudela, 1999, Vignon et Morat, 2010).

En matière de gestion des stocks, pour l'anchois, on suggère que le stock de la mer d'Alboran soit géré indépendamment de celui du bassin algéro-provençal (mesures liées à l'effort, aux engins et quotas de pêche). En ce qui concerne la sardine, nous avons supposé que la population d'El-Kala pourrait appartenir au groupement de la Tunisie, on retiendra alors la division faîte par la CGPM, qui sépare les stocks de la sardine du Nord de la Tunisie et la sardine présente au niveau du littoral algérien.

Enfin, pour ce qui est de la bogue, et vu la pression de pêche exercée sur cette espèce, il est indispensable de faire des études complémentaires à l'analyse de la forme des otolithes afin de mieux comprendre la structure de la population et pouvoir identifier les populations isolées.

L'évolution des populations des petits pélagiques est dépendante des conditions hydro-planctoniques variables, il serait alors intéressant d'avoir les données des paramètres de l'environnement tel que la température de l'eau de surface et la concentration en chlorophylle, pour chaque site, pour pouvoir lier ces changements environnementaux à la variabilité de la forme des otolithes.

Une forte relation positive a été trouvée entre la longueur totale du poisson et les différents descripteurs de distance des otolithes, des recherches supplémentaires pourraient être menées pour évaluer si cela pourrait être utilisé pour l'estimation de l'âge des espèces.

Vu la forte variabilité de la forme des otolithes qui est liée à l'âge, et pour éviter de probables erreurs de standardisation, il serait intéressant de cibler et comparer les mêmes classes d'âge.

Il serait judicieux aussi de compléter l'étude de la forme des otolithes avec d'autres études telle que l'étude génétique, absente dans cette région pour ces trois espèces.

À l'avenir, l'analyse chimique des otolithes sera un outil adéquat pour mieux comprendre les paramètres physicochimiques de l'environnement affectant la morphologie l'otolithe des populations et afin d'obtenir une meilleure discrimination des stocks. La gestion rationnelle des stocks devrait être basée sur la population, subdivisée selon l'hétérogénéité phénotypique induite par la variabilité environnementale.

Enfin, pour chacune des espèces, il serait nécessaire d'améliorer nos connaissances sur leur biologie et leur écologie notamment pour *B. boops*, puisque très peu d'informations concernant ce sparidé sont disponibles. Du point de vue gestion des stocks, il est important de prendre en considération l'aspect biologique dans l'évaluation et la gestion des pêcheries pour assurer la pérennité de ces ressources.

Références bibliographiques

AGÜERA A. et BROPHY D., 2011. Use of sagittal otolith shape analysis to discriminate Northeast Atlantic and Western Mediterranean stocks of Atlantic saury, *Scomberesox saurus saurus* (Walbaum, 1792). *Fisheries Research*, 110: pp 465–471.

AISSANI S., 2014. Le marbré *Lithognathus mormyrus* (Linnaeus, 1758) de la région centre algérienne : âge, croissance et morphométrie des otolithes par analyse d'images. *Mémoire d'Ingénieur, ENSSMAL, Alger* : 30 p.

ANDERSON M.-J. et WILLIS T.-J., 2003. Canonical analysis of principal coordinates: a useful method of constrained ordination for ecology. *Ecology*, 84(2): pp 511–525.

ARNONE R.-A., NERO R.-W., JECH J.-M. et DE PALMA I., 1990. Acoustic imaging of biological and physical processes within Gulf Stream Meanders. *Eos*, 71 (29): pp 982.

ASSIS C.-A., 2005. The utricular otoliths, *lapilli*, of teleosts: their morphology and relevance for species identification and systematic studies. *Scientia Marina*, 69: pp 259-273.

ATARHOUCH T., RÜBER L., GONZALEZ E.-G., ALBERT E.-M., RAMI M., DAKKAK A. et ZARDOYA R., 2006. Signature of an early genetic bottleneck in a population of Moroccan sardines (*Sardina pilchardus*). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 39: pp 373-383.

BACHA M., JEMAA S., HAMITOUCHE A., RABHI K. et AMARA R., 2014. Population structure of the European anchovy, *Engraulis encrasicolus*, in the SW Mediterranean Sea, and the Atlantic Ocean: evidence from otolith shape analysis. *ICES Journal of Marine Science*, 71(9): pp 2429–2435.

BACHA M., MOALI A., BENMANSOUR N.-E., BRYLINSKI J.-M., MAHE K. et AMARA R., 2010. Relationships between age, growth, diet and environmental parameters for anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Bay of Beni-Saf (SW Mediterranean, west Algerian coast). *Cybium,* 34 (1): pp 47–57.

BAILEY M.-C. et HEATH M.-R., 2001. Spatial variability in the growth rate of blue whiting (*Micromesistius poutassou*) larvae at the shelf edge west of the UK. *Fisheries Research,* 50: pp 73–87.

BAILLON N., 1991. Otolithométrie en milieu tropical: application à trois espèces du lagon de nouvelle Calédonie. *Ed. Orstom, Paris* : 13p.

BAKALEM A., 2008. Contribution a l'étude des peuplements benthiques du plateau continental algérien. *Thèse de doctorat. USTHB*: pp 53-103.

BARANGE M., COETZEE J.-C. et TWATWA N.-M., 2005. Strategies of space occupation by anchovy and sardine in the southern Benguela: the role of stock size and intra-species competition. *ICES Journal of Marine Science,* 62(4): pp 645-654.

BASILONE G., GUISANDE C., PATTI B., MAZZOLA S., CUTTITTA A., BONANNO A. et KALLIANIOTIS A., 2004. Linking habitat conditions and growth in the European anchovy (*Engraulis encrasicolus*). *Fisheries Research,* 68 : pp 9-19.

BAUCHOT M.-L. et PRAS A., 1980. Guide des poissons marins d'Europe. *Ed. Delachaux et Niestlé, Paris* : 101 p.

BEGG G.-A. et BROWN R.-W., 2000. Stock identification of haddock *Melanogrammus aeglefinus* on Georges bank based on Otolith Shape Analysis. *Transactions of the American Fisheries Society*, 129: pp 935-945.

BEGG G.-A. et WALDMAN J.-R., 1999. An holistic approach to fish stock identification. *Fisheries Research*, 43: pp 35-44.

BEGG G.-A., CAMPANA S.-E., FOWLER A.-J. et SUTHERS I.-M., 2005. Otolith research and application: current directions in innovation and implementation. *Marine and Freshwater Research*, 56: pp 477-483.

BENMANSOUR N.-E., 2009. Contribution à l'étude de l'anchois, *Engraulis encrasicolus* (L.1758) de l'extrême ouest algérien (Ghazaouet et Beni-Saf) : Recherche de quelques métaux lourds. *Mémoire de Magister,* Université Aboubekr Belkaïd, Tlemcen: 99 p.

BENZINOU A., CARBINI S., NASREDDINE K., ELLEBOODE R. et MAHÉ K., 2013. Discriminating stocks of striped red mullet (*Mullus surmuletus*) in the Northwest European seas using three automatic shape classification methods. *Fisheries Research*, 143: 153-160.

BINET D., 1995. Hypotheses accounting for the variability of *Sardinella* abundance in the northern Gulf of Guinea. pp. 98-133 *cité par* BARD F.-X., et KORANTEG K.-A., Dynamique et usage des ressources en sardinelles de l'upwelling côtier du Ghana et de la Côte d'Ivoire. *Ed. ORSTOM, Paris*: 438p.

BIVAND R., LEISCH F. et MAECHLER M., 2011. Pixmap: Bitmap Images ("Pixel Maps").*R package version 0.4–11.*

Adresse URL: http://CRAN.R-project.org/package=pixmap.

BOLLES K.-L. et BEGG G.-A., 2000. Distinction between silver hake (*Merluccius bilinearis*) stocks in US waters of the northwest Atlantic based on whole otolith morphometrics. *Fish. Bull*., 98(3): pp 451-462.

BON D., 2007. Evaluation de deux nouveaux outils pour l'étude d'échantillons biologiques par spectroscopie de Résonance Magnétique Nucléaire. *Thèse de doctorat. Université de Toulouse (Toulouse III – Paul Sabatier) : 110p.*

BORSA P., 2002. Allozyme, mitochondrial-DNA, and morphometric variability indicate cryptic species of anchovy (*Engraulis encrasicolus*). *Biol. J. Linn. Soc*, 75: pp 261-269.

BOUCHEREAU J.-L., 1981. Contribution à l'étude de la biologie et de la dynamique de la population exploitée de *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) dans la baie d'Oran. *Thèse de doctorat. Université de Provence (Aix Marseille II) : 17p.*

BOUDINAR S., 2016. Recherches sur la morphologie et la génétique du complexe *Atherina boyeri* en Méditerranée occidentale et biologie de l'espèce dans la lagune Mellah. *Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar, Annaba* : 64p.

BOUFERSAOUI S., AISSANI S., ELLEBOODE R., HARCHOUCHE K., et MAHÉ K., 2015. Âge et croissance de la daurade marbrée (*Lithognathus mormyrus* Linnaeus, 1758) des côtes centrales de l'Algérie (Méditerranée du Sud-Ouest). *VIe Rencontres de l'Ichtyologie en France, 24-27 mars 2015, Paris : 32p.*

BUTTLER A. et GILLET F., 2008. Master SIE – Notes du cours Écologie numérique chapitre 6. *Ecole polytechnique fédérale de Lausanne*. 35p.

CADRIN S.-X. et FRIEDLAND K.-D., 1999. The utility of image processing techniques for morphometric analysis and stock identification. *Fish. Res*., 43: pp 129–139.

CADRIN S.-X., KERR L.-A. et MARIANI S., 2013. Stock identification methods: applications in fishery science. *Ed. Elsevier, USA*: 566p.

CAMPANA S.-E. et CASSELMAN J.-M., 1993.Stock Discrimination Using Otolith Shape Analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences,* 50: pp 1062-1083.

CARDINALE M., DOERIN-ARJES P., KASTOWSKY M. et MOSEGAARD H., 2004. Effects of sex, stock, and environment on the shape of known-age Atlantic cod (*Gadus morhua*) otoliths. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences,* 61: pp 158-167.

CHAIRI H., IDAOMAR M. et REBORDINOS L., 2007. Mitochondrial DNA analysis of the European Anchovy in the Southern Mediterranean and Northern Atlantic Coasts. *Journal of Fisheries and Aquatic Science,* 2: pp 206-215.

CHECKLEY D.-M., ALHEIT J., OOZEKI Y. et ROY C., 2009. Climate Change and Small Pelagic Fish. *Ed. Cambridge University Press, Cambridge*: 1026p.

CHLAIDA M., 2009. Variabilité allozymique associée au flux migratoire des populations de sardine, *sardina pilchardus,* le long de la côte nord ouest africaine. *Thèse de doctorat. Université Mohammed V – Agdal, Rabat* : 14p.

CLAUDE J., 2008. Morphometrics with R. *Ed. Springer, New York*: 316p.

COLL M., SHANNON L.-J., MOLONEY C.-L., PALOMERA I. et TUDELA S. Comparing trophic flows and fishing impacts of a NW Mediterranean ecosystem with coastal upwelling systems by means of standardized models and indicators. *Ecological modeling,* 198: pp 53–70.

COTE G., LAMOUREUX P., BOULVA J. et LACROIS G., 1980. Séparation des populations de harengs de l'Atlantique (*Clupea harengus harengus*) de l'estuaire de Saint-Laurent et de la péninsule gaspésienne. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences,* 37: pp 66-71.

CSIRKE J., 1995. Fluctuations in abundance of small and mid-size pelagics. *Scientia Marina,* 59(3–4): pp 481-490.

CURY P. et FONTANA A., 1988. Compétition et stratégie démographiques comparées de deux espèces de sardinelles (*Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*) des côtes ouest africaines. *Aquat. Liv. Resour,* 1 : pp 165-180.

DAGET J. et Le GUEN J.-C., 1975. Dynamique des populations exploitées de poissons et Problèmes d'écologie : La démographie des populations de vertébrés. *Ed. Masson, Paris* : pp 395-443.

DE VRIES D.-A., GRIMES C.-B. et PRAGER M.-H., 2002. Using otolith shape analysis to distinguish eastern Gulf of Mexico and Atlantic Ocean stocks of king mackerel. *Fisheries Research,* 57(1) : pp 51-62.

DERBAL F. et KARA M.-H., 2008. Composition du régime alimentaire du bogue *Boops boops* (Sparidae) dans le golfe d'Annaba (Algérie).*Cybium,* 32 (4) : pp 325-333.

DERBAL F., 2007.L'ichtyofaune des côtes de l'est algérien: écologie de quatre téléostéens (*Diplodus cervinus cervinus, D. puntazzo, Sciaena umbra, Epinephelus costae*) et contribution á la biologie du sar tambour *Diplodus cervinus cervinus* (lowe, 1838). *Thèse de doctorat. Université d'Annaba*: pp 10-15.

DJABALI F., BRAHMI B. et MAMMASSE M., 1993. Poissons des Côtes Algériennes. *PELAGOS, Bulletin de I'ISMAL (Bulletin de l'Institut des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, numéro spécial)* : 215 p.

DUMAY J., 2006. Extraction de lipides en voie aqueuse par bioréacteur enzymatique combiné à l'ultrafiltration : application a la valorisation de co-produits de poisson (*sardina pilchardus*). *Thèse de doctorat. Université de Nantes* : 34p.

FISCHER W., BAUCHOT M-L. et SCHNEIDER M., 1987. Fiches d'identification des espèces pour les besoins de la pêche. Méditerranée et mer noire (Révision 1. Zone de pêche. 37). *CEE, FAO. Rome* : pp 762 -1530.

FOX C.-J., FOLKVORD A. et GEFFEN A.-J., 2003. Otolith micro-increment formation in herring *Clupea harengus* larvae in relation to growth rate. *Marine Ecology Progress Series,* 264 : pp 83–94.

FREON P., 1988. Réponses et adaptations des stocks de clupéidés d'Afrique de l'ouest à la variabilité du milieu et de l'exploitation : Analyse et réflexion à partir de l'exemple du Sénégal. *Ed. ORSTOM, Paris*: 287p.

FREON P., CURY P., SHANNON L. et ROY C., 2005. Sustainable exploitation of small pelagic fish stocks challenged by environmental and ecosystem changes: a review. *Bulletin of marine science*. 76(2): pp 385–462.

GAGLIANO M. et MCCORMICK M.-I., 2004. Feeding history influences otolith shape in tropical fish. *Marine Ecology Progress Series,* 278: pp 291-296.

GALLEGO A., HEATH M.-R., BASFROD D.-J. et MAC KENZIE B.-R., 1999. Variability in growth rates of larval haddock in the northern North Sea. *Fisheries Oceanography,* 8: pp 77–92.

GAULDIE R.-W. et NELSON D.G.-A., 1990. Otolith growth in fishes. *Comp. Biochem. Phys. A., 97*(2) : pp 119-135.

GONZALEZ-SALAS C. et LENFANT P., 2007. Interannual variability and intraannual stability of the otolith shape in European anchovy *Engraulis encrasicolus* (L.1758) in the Bay of Biscay. *Journal of Fish Biology,* 70: pp 35-49.

GRIMES S., 2010. Peuplements benthiques des substrats meubles de la cote algérienne : taxonomie, structure et statut écologique. *Thèse de doctorat. Université d'Oran, Faculté des sciences* : 17 p.

HARMELIN J.-G., 1987. Structure de la variabilité de l'ichtyofaune d'une zone rocheuse protégée en Méditerranée (Parc national de Port-Cros, France). *PZNI Mar. Ecol.* 8: 263- 284.

HEMIDA F., 1987. Contribution à l'étude de l'anchois *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) dans la région d'Alger: biologie et exploitation. *Thèse de Magister, USTHB, Bab Ezzouar* : 8p.

HOUMA F., 2009.Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire. *Thèse de doctorat. Université du Val de Marne Paris XII*: 225 p.

HÜSSY K., 2008. Otolith shape in juvenile cod (*Gadus morhua*): Ontogenetic and environmental effects. *Journal of experimental Marine Biology and Ecology,* 364: pp 35–41.

IHSSEN P.-E., BOOKE H.-E., CASSELMAN J.-M., MCGLADE J.-M., PAYNE N.-R. et UTTER F.-M., 1981. Stock Identification: Materials and Methods. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences,* 38: pp 1838-1855.

IVERSON R.-L., 1990.Control of marine fish production. *Limnology and Oceanography,* 35: pp 1593-1604.

JEMAA S., 2014. Étude de la structure des populations et du régime alimentaire de l'anchois européen (*Engraulis encrasicolus*) et de la sardine européenne (*Sardina pilchardus*): relations avec l'environnement. *Thèse de doctorat. Université du Littoral* : pp 13-55.

KADRI L., 1988. L'anchois, *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) de la région de beni-Saf : Estimation de quelques paramètres biologiques et dynamiques. *Mémoire d'Ingénieur, ENSSMAL, Alger* : 3 p.

KHERRAZ A., 2011. Aspect biologique et évaluation de la pêcherie de la bogue *Boops boops* (Linné, 1758) de la frange côtière oranaise. Biologie - Croissance – Exploitation. *Mémoire de Magister, Université d'Oran, Oran*: 77 p.

KUHL F.-P. et GIARDINA C.-R., 1982. Elliptic Fourier features of a closed contour. *Computer Graphics and Image Processing,* 18: pp 236-258.

L'ABÉE-LUND J.-H., 1988. Otolith shape discriminates between juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar,* and brown trout, *Salmo trutta*. *Journal of Fish Biology,* 33: pp 899-903.

LADOUL S., 2011. Utilisation du sar à tête noire (*Diplodus vulgaris,* Geoffroy St Hilaire, 1817) comme modèle bio-indicateur dans la région d'Alger : comportement, gestion et surveillance. *Mémoire de Magister, ENSSMAL, Alger*: 12 p.

LAMRINI A., 1988. Sexualité de la bogue *Boops boops*(Linnaeus, 1758), au sud du détroit de Gibraltar. *Actes Inst. Agron. Veto (Maroc),* 18(1): pp 5-14.

LAUREC A. et Le GUEN J.-C., 1981. Dynamique des populations marines exploitées, Tome 1, Concepts et modèles. *CNEXO/ Centre Océanologique de Bretagne. Documentation*.

LAURENT V. et PLANES S., 2007.Effective population size estimation on *Sardina pilchardus* in the Bay of Biscay using a temporal genetic approach. *Biological Journal of the Linnean Society,* 90: pp 591-602.

LAURENT V., MAGOULAS A., CANECO B. et PLANES S., 2007.Isolation by distance and selection effects on genetic structure of sardine *Sardina pilchardus*. *Journal of Fish Biology,* 71: pp 1–17.

LEE J.-Y., 1961. La sardine du golfe du lion *(Sardina pilchardus sardina*). *Rev. Trav. Inst. Pêches marit,* 25 (4): pp 417-511.

LIBUNGAN L.-A. et PÁLSSON S., 2015.ShapeR: An R Package to study otolith shape variation among fish populations.*Plos one,* 10(3): pp 1-12.

LIBUNGAN L.-A., 2015.Identification of herring populations. *Thèse de doctorat. Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Iceland*: 135p.

LLEONART J., SALAT J. et TORRES J-G., 2000. Removing allometric effects of Body Size in Morphological Analysis. *J. theor. Biol.,* 205: pp 85-93.

LOMBARTE A. et CASTELLÓN A., 1991.Interespecific and intraspecific otolith variability in the genus *Merluccius* as determined by image analysis. *Canadian Journal of Zoology,* 69: pp 2442-2449.

LOMBARTE A. et LLEONART J., 1993. Otolith size changes related with body growth, habitat depth and temperature. *Environmental Biology of Fishes,* 37: pp 297-306.

MAGOULAS A., CASTILHO R., CAETANO S. et PATERNELLO T., 2006. Mitochondrial DNA reveals a mosaic pattern of phylogeographical structure in Atlantic and Mediterranean populations of anchovy (*Engraulis encrasicolus*). *Mol. Phyl. Evol*, 39: pp 734-746.

MAGOULAS A., TSIMENIDES N. et ZOUROS E., 1996. Mitochondrial DNA phylogeny and the reconstruction of the population history of a species: the case of the European anchovy (*Engraulis encrasicolus*.). *Mol. Biol. Evol*, 13: pp 178-190.

MÉRIGOT B., BATJAKAS I.-E. et LETOURNEUR Y., 2006. Fish community structure of two Greek close gulfs (Lesvos Island, Aegean Sea). *Cybium,* 30: pp 79-81.

MERIGOT B., LETOURNEUR Y. et LECOMTE-FINIGER R., 2007. Characterization of local populations of the common sole *Solea solea* (Pisces, Soleidae) in the NW Mediterranean through otolith morphometrics and shape analysis. *Marine Biology,* 151: pp 997-1008.

MESSAOUD H., BOURIGA N., Néjib M., YAHIA D., BOUMAIZA M., FAURE E., QUIGNARD J.-P. et TRABELSI M., 2011. Discrimination de trois populations d'anchois du genre *engraulis* (Clupeiforme, Engraulidae) des côtes tunisiennes par analyse de forme des otolithes. *Bull. Inst. Natn. Scien. Tech. Mer de Salammbô*, 38: pp 21-27.

MILLOT C., 1985. Some features of the Algerian current. *Journal of Geophysical Research,* 90 (C4): pp 7169-7176.

MILLOT C., 1989. La circulation générale en Méditerranée occidentale : Aperçu de nos connaissances et projets d'études. *Annales de géographie,* 98 (549): pp 497-515.

MORAT F., BETOULLE S., ROBERT M., THAILLY A.-F., BIAGIANTI-RISBOURG S. et LECOMTE-FINIGER R., 2008. What can otolith examination tell us about the level of perturbations of Salmonid fish from the Kerguelen Islands. *Ecology of Freshwater Fish,* 17: pp 617–627.

MREE-PAP RAC/PAM, 2015. Stratégie nationale de gestion intégrée des zones côtières en Algérie. *(Appui PAMMedPartnership, UNESCO)*. 94 p.

NACIRI M., LEMAIRE C., BORSA P. et BONHOMME F., 1999. Genetic study of the Atlantic/Mediterranean transition in sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Journal of Heredity,* 90: pp 591-596.

NASREDDINE K., 2010. Recalage de signaux et reconnaissance de formes : Application à l'analyse des otolithes de poissons. *Thèse de doctorat. Université de Bretagne occidentale, Brest*: 16p.

O'HARA R.-B., SIMPSON G.-L., SOLYMOS P., STEVENS H.-H. et WAGNER H., 2013. Vegan: community ecology package.*R package version 2.0*–10.

Adresse URL: http://CRAN.R-project.org/package=vegan

OKSANEN J., BLANCHET G., KINDT R., LEGENDRE P., MINCHIN R., O'HARA R.-B., SIMPSON G.-L. et SOLYMOS P., 2013. Vegan: Community Ecology Package. *R package version 2.0–7*.

Adresse URL: http://CRAN.R-project.org/package=vegan.

OXMAN D.-S., BARNETT-JOHNSON R., SMITH M.-E., COFFIN A., MILLER D.-L., JOSEPHSON R. et POPPER A.-N., 2007.The effect of vaterite deposition on sound reception, otolith morphology, and inner ear sensory epithelia in hatchery-reared Chinook salmon(*Oncorhynchus ishawytscha*).*Canadian journal Fisheries and aquatic sciences*, 64: pp 1469-1478.

PANFILI J., DE PONTUAL H., TROADEC H. et WRIGHT P.J., 2002. Manuel de sclérochronologie des poissons. *Coédition Ifremer-IRD*, 464 p.

PARRISH R.-H., SERRA R. et GRANT W.-S., 1989. The monotypic sardines, *Sardina* and *Sardinops*: their taxonomy, distribution, stock structure, and zoogeography. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences,* 46: pp 2019-2036.

PATARNELLO T., VOLCKAERAT F. A. -M. et CATILHO R., 2007. Pillars of Hercules: is the Atlantic–Mediterranean transition a phylogeographical break. *Molecular Ecology*, 16: pp 4426–4444.

PAULY D., 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *Journal du Conseil,* 39: pp 175-192.

QUESADA H., ZAPATA C. et ALVAREZ G., 1995. A multilocus allozyme discontinuity in the mussel *Mytilus galloprovincialis*: the interaction of ecological and life-history factors. *Marine Ecology Progress Series,* 116: pp 99-115.

RAMON M.-M. et CASTRO J.-A., 1997. Genetic variation in natural stocks of *Sardina pilchardus* (sardines) from the western Mediterranean Sea. *Heredity*, 78(5): pp 520-528.

REFES W., 2011. Contribution à la connaissance de la biodiversité des fonds chalutables de la côte algérienne : les peuplements ichtyologiques des fonds chalutables du secteur oriental de la côte algérienne. *Thèse de doctorat. Université d'Annaba*: 49p.

REIST J.-D., 1985.An empirical evaluation of several univariate methods that adjust for size variation in morphometric data. *Can. J. Zool*., 63: pp 1429- 1439.

RIOS C., SANZ S., SAAVEDRA C. et PEÑA J.B., 2002.Allozyme variation in populations of scallops, *Pecten jacobaeus* and *P. maximus* (Bivalvia: Pectinidae), across the Almeria-Oran front.*Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.* 267: pp 223-244.

ROBLES R., BERRAHO A., CAMIÑAS J.-A., NAJIH M., ALCANTARA A. et SIMARD F., 2007. Conservation et développement durable de la mer d'Alboran : éléments stratégiques

pour sa gestion future. *Centre de Coopération pour la Méditerranée, Union Mondiale pour la Nature UICN*. *Málaga* : 6p.

ROLDAN M.-I., GARCIA-MARIN J.-L., UTTER F.-M. et PLA C., 1998.Population genetic structure of European hake, *Merluccius merluccius*. *Heredity,* 81: pp 327-334.

SABATES A., SALAT J., RAYA V. et EMELIANOV M., 2013. Role of mesoscale eddies in shaping the spatial distribution of the coexisting *Engraulis encrasicolus* and *Sardinella aurita* larvae in the northwestern Mediterranean. *Journal of Marine Systems*, 111-112: pp 108-119.

SCHERRER B., 2007. Biostatistique, Volume 1.*Ed. Boucherville, QC*: 816 p.

SEDDIKIOUI L., 2011. Etude et détermination du régime alimentaire du congre européen (*Conger conger*) de la côte occidentale algérienne. *Mémoire de Magister . Université d'Oran, Faculté des sciences : 3p.*

SOUILAH C., 2008. Contribution a l'étude des Helminthes chez la Bogue *Boops boops* (Linné, 1758) de la côte occidentale algérienne. *Thèse de Magister, Université d'Oran Es-Senia*: 47p.

STRANSKY C. et MACLELLAN S.E., 2005. Species separation and zoogeography of redfish and rockfish (genus *Sebastes*) by otolith shape analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62: pp 2265-2276.

STRANSKY C., BAUMANN H., FEVOLDEN S.-E., HARBITZ A., HØIE H., NEDREAAS K.-H., SALBERG A.-B. et SKARSTEIN T.-H., 2008. Separation of Norwegian coastal cod and Northeast Arctic cod by outer otolith shape analysis. *Fisheries Research*, 90: pp 26-35.

TINTORE J., LA VIOLETTE P.-E., BLADE I. et CRUZADO A., 1988. A study of an intense density front in the eastern Alboran Sea: The Almeria-Oran Front . *Journal of physical oceanography*, 18: pp 1384-1397.

TORRES G.-J., LOMBARTE A. et MORALES-NIN B., 2000. Sagittal otolith size and shape variability to identify geographical intraspecific differences in three species of genus *Merluccius*. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, 80(2): pp 333–342.

TRACEY S.-R., LYLE J.-M. et DUHAMEL G., 2006. Application of elliptical Fourier analysis of otolith form as a tool for stock identification. *Fish. Res.*, 77: pp 138–147.

TUSET V.-M., LOMBARTE A., GONZALEZ J.-A., PERTUSA J.-F. et LORENTE M.-J., 2003. Comparative morphology of the sagittal otolith in *Serranus spp. Journal of Fish Biology*, 63: pp 1491–1504

Urbanek S., 2014. Jpeg: Read and write JPEG images. *R package version 0.1–8.*
Adresse URL: http://CRAN.R-project.org/package=jpeg.

VEEN J. et HOEDEMAKERS K., 2005. Synopsis iconographique des otolithes de quelques espèces de poissons des côtes ouest africaines. Wageningen, the Netherlands.*Wetlands International*: pp 7-8.

VIGNON M. et MORAT F., 2010. Environmental and genetic determinant of otolith shape revealed by a non-indigenous tropical fish. *Mar. Ecol. Prog. Ser*., 411: pp 231–241.

VIÑAS J., SANZ N., PEÑARRUBIA L., ARAGUAS R.-M., GARCÍA-MARÍN J.-L., ROLDÁN M. I. et PLA C., 2013. Genetic population structure of European anchovy in the Mediterranean Sea and the Northeast Atlantic Ocean using sequence analysis of the mitochondrial DNA control region. *ICES Journal of Marine Science*, 71 (2): pp 391–397.

WARNES G-R., BOLKER B., BONEBAKKER L., GENTLEMAN R., HUBER W., LIAW A., LUMLEY T., MAECHLER M., MAGNUSSON A., MOELLER S., SCHWARTZ M. et VENABLES B., 2014. gplots: Various R programming tools for plotting data .*R package version 2.13.0*. http://CRAN.R-project.org/package=gplots.

WHITEHEAD P.J.-P., 1985. Clupeoid fishes of the world (suborder Clupeioidei). An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies and wolf-herrings. *Ed. FAO, Rome*: pp 305-579.

Discrimination des populations de trois espèces de petits pélagiques des côtes algériennes : *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758), *Sardina plichardus* (Walbaum, 1792) et *Boops boops* (Linnaeus, 1758) par analyse de forme des otolithes

Résumé. Les mensurations des otolithes (*sagittae*) de trois espèces de poissons petits pélagiques - *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758); *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) et *Boops boops* (Linnaeus, 1758) ont été obtenues par analyse d'image d'échantillons de captures prélevés de plusieurs secteurs du bassin algérien. Les cinq descripteurs de forme, du facteur de forme, la rondeur, la rectangularité, la circularité et l'ellipticité ont été analysés et ont révélé des différences statistiquement significatives entre les otolithes des populations chez les trois espèces de poissons pélagiques étudiés. Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'étude de cette hétérogénéité dans les eaux algériennes, par l'analyse et la comparaison des formes des otolithes. En effet, cette méthode basée sur l'analyse elliptique de Fourier est une nouvelle technique puissante. Les descripteurs de Fourier sont caractérisés par des harmoniques qui sont représentées par quatre coefficients. L'analyse canonique statistique des coordonnées principales (CAP) de ces facteurs permet la séparation des spécimens étudiés. L'application de cette technique nous a permis de séparer trois populations de bogues, d'anchois et de sardines pêchées dans les eaux algériennes.

Mots clés : Otolithe, Analyse de forme, Fourier, discrimination de stocks.

Discrimination of the populations of three species of small pelagics on the Algerian coast: *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758), *Sardina plichardus* (Walbaum, 1792) and *Boops boops* (Linnaeus, 1758) by shape analysis of otoliths

Abstract. The otolith (*sagittae*) measurements of three small pelagic fish species - *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758), *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) and *Boops boops* (Linnaeus, 1758) were obtained by image analysis from catch samples taken from several sectors of the Algerian basin. Five shape descriptors of shape factor, roundness, rectangularity, circularity and ellipticity were analysed and revealed statistically significant differences between the otoliths of the populations in the three pelagic fish species. In this work, we are interested in the study of this heterogeneity in Algerian waters, through analysis and comparison of shapes of otoliths. Indeed, this method based on elliptic Fourier analysis is a powerful new technique. The Fourier descriptors are characterized by harmonics, each one is represented by four coefficients. Statistical Canonical Analysis of Principal coordinates (CAP) of these factors allows the separation of specimens studied. This technique allowed us to separate three populations of bogues, sardines and anchovies fished in Algerian waters.

Keywords: Otolith, Shape analysis, Fourier, Stocks discrimination.